



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

DESARROLLAR UN SISTEMA DE RECEPCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL SATELITAL QUE PERMITA MEJORAR LA CALIDAD DE SERVICIO FUNDAMENTADO EN EL ESTÁNDAR DVB-S

JOHNNY ERNESTO NOBOA REYES

**Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo,
presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH,
como requisito parcial para la obtención del grado de:**

MAGÍSTER SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

RIOBAMBA - ECUADOR

JULIO 2020



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El **Trabajo de Titulación Modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado “DESARROLLAR UN SISTEMA DE RECEPCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL SATELITAL QUE PERMITA MEJORAR LA CALIDAD DE SERVICIO FUNDAMENTADO EN EL ESTÁNDAR DVB-S”, de responsabilidad del señor Johnny Ernesto Noboa Reyes, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

ING. WILSON ARMANDO ZÚÑIGAVINUEZA; MAG.

PRESIDENTE

ING. PAÚL DAVID MORENO AVILES; PhD.

DIRECTOR

ING. OSWALDO MARTÍNEZ GUASHIMA; MAG.

MIEMBRO

ING. ALEXANDRA ORFELINA PAZMIÑO ARMIJOS; MAG.

MIEMBRO

Riobamba, julio 2020

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Johnny Ernesto Noboa Reyes, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

JOHNNY ERNESTO NOBOA REYES

No. Cédula: 060217640-6

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a toda mi familia, que con esfuerzo han sabido apoyarme en todo momento, especialmente en el tiempo en el que se debió cumplir con el curso de la maestría.

A todos mis compañeros de maestría y a mis profesores.

Ernesto Noboa Reyes

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haber brindado esta oportunidad de desarrollarme como profesional. Así mismo agradezco a los ingenieros David Moreno Avilés, Oswaldo Martínez y Alexandra Pazmiño quienes fueron los colaboradores para el desarrollo de esta investigación.

También expreso mi agradecimiento al Director de la Escuela de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes, Ing. Franklin Moreno y al Ing. Jefferson Rivadeneira por compartir sus conocimientos para este trabajo.

A todos los profesores de la Maestría en Sistemas de Telecomunicación que, con esfuerzo y dedicación, supieron compartir sus conocimientos y sus experiencias.

Ernesto Noboa Reyes

CONTENIDO

RESUMEN	xiii
SUMARY	xiv
CAPÍTULO I	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.2 Situación problemática	1
1.3 Formulación del problema	2
1.4 Preguntas directrices o específicas de la investigación	2
1.5 Justificación de la investigación	2
1.6 Objetivos de la investigación	2
1.6.1 Objetivo General	2
1.6.2 Objetivos específicos	3
1.7 Hipótesis	3
1.7.1 Hipótesis general	3
CAPÍTULO II	4
2 MARCO TEÓRICO	4
2.1 Antecedentes del problema	4
2.2 Bases teóricas	4
2.2.1 El estándar Digital Video Broadcasting - DVB	4
2.2.1.1 La familia DVB (Digital Video Broadcasting)	4
2.2.1.2 El estándar Digital Video Broadcasting - Satellite, DVB-S	5
2.2.1.3 Arquitectura del sistema DVB-S	6
2.2.1.4 El transpondedor del satélite	11
2.2.1.5 Interconexión	11
2.2.2 Sistemas de recepción de televisión digital satelital	11
2.2.2.1 Bandas de frecuencias en televisión satelital	12

2.2.2.2	Polarización de las señales de televisión satelital	12
2.2.2.3	Cobertura de los satélites	13
2.2.2.4	Antena parabólica	13
2.2.2.5	Convertidor de bajo ruido	16
2.2.3	Antenas microstrip	19
2.2.3.1	Características básicas de las antenas microstrip	19
2.2.3.2	Alimentación de las antenas microstrip	21
2.2.3.3	Métodos de análisis	22
2.2.4	Estado del arte: las antenas microstrip	23
CAPÍTULO III		27
3	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	27
3.1	Métodos de investigación	27
3.2	Enfoque de la investigación	27
3.3	Alcance de la investigación	28
3.4	Población de estudio	28
3.5	Unidad de análisis	28
3.6	Selección de la muestra	28
3.7	Tamaño de la muestra	28
3.8	Técnica de recolección de datos primarios y secundarios	28
3.8.1	Fuentes primarias	28
3.8.2	Fuentes secundarias	29
3.9	Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios	29
3.10	Instrumentos para procesar datos recopilados	29
CAPÍTULO IV		30
4	ANÁLISIS Y RESULTADOS	30
4.1	Mediciones	30
4.1.1	Satélite	30
4.1.2	Conversor LNB	30

4.1.3	Mediciones con la antena microstrip	30
4.1.3.1	Potencia de la señal	31
4.1.3.2	El ancho de banda (BW)	32
4.1.3.3	Relación señal a ruido	33
4.1.3.4	Tasa de errores de modulación (Modulation Error Ratio - MER)	33
4.1.3.5	Bit Error Rate (BER)	33
4.1.3.6	Constelación	33
4.1.3.7	Parámetros DVB-S	34
4.1.4	Antena parabólica off-set	35
4.1.4.1	Mediciones con la antena parabólica off-set	36
4.1.4.2	Parámetros de recepción	36
4.1.4.3	Constelación	37
4.1.4.4	Indicadores DVB-S	37
4.1.5	Análisis estadístico	38
4.2	Resultados y discusión	39
CAPÍTULO V		41
5	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP PARA LA RECEPCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL SATELITAL	41
5.1	Diseño del parche	41
5.2	Distribución de cambio de fase	48
5.3	Cambio de fase basado en parches únicos de tamaño variable	48
5.4	Análisis del coeficiente de reflexión	49
5.5	Diseño de la antena	50
5.6	Modelado	53
5.7	Construcción de la antena	55
5.8	Costo para la construcción de la antena	56
CONCLUSIONES		58
RECOMENDACIONES		59

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2	Asignaciones de frecuencia	5
Tabla 2-2	Operatividad de DTH con el estándar DVB-S	6
Tabla 3-2	Margen del sistema con una modulación QPSK y Roll-Off de 35%	9
Tabla 4-2	Sistema de interfaces	11
Tabla 5-2	Frecuencias consideradas en la banda Ku	12
Tabla 6-2	Comparación de antenas microstrip de parches circular y rectangular	23
Tabla 1-4	Características del satélite Amazonas 2	30
Tabla 2-4	Mediciones realizadas con la antena microstrip	35
Tabla 3-4	Especificaciones técnicas antena off-set	35
Tabla 4-4	Mediciones realizadas con la antena off-set	38
Tabla 5-4	Medidas estadísticas considerando la potencia de la señal recibida en dBm	39
Tabla 6-4	Medidas estadísticas considerando la potencia de la señal recibida en dB μ V	39
Tabla 7-4	Comparación de resultados entre la antena microstrip y la antena off-set	39
Tabla 1-5	Costo para la construcción de la antena microstrip	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2	Diagrama de bloques DVB-S	6
Figura 2-2	Diagrama de aleatorización y desaleatorización	7
Figura 3-2	Paquetes de transporte aleatorizados. Sincronización de bytes y secuencia aleatoria R	8
Figura 4-2	RS (204,188, T=8) Paquete protegido contra errores	8
Figura 5-2	Mapeo de bits en la constelación QPSK	10
Figura 6-2	Polarizaciones: (a) Polarización lineal vertical. (b) Polarización circular a derechas o a izquierdas	12
Figura 7-2	Representación general de las partes de una antena parabólica	14
Figura 8-2	Representación polar de la ganancia en función del ángulo de la antena con el satélite	15
Figura 9-2	Reflectores: a. Antena de foco centrado. b. Antena offset. c. Antena Cassegrain	16
Figura 10-2	Alimentador y LNB	17
Figura 11-2	Diagrama de bloques del alimentador y el LNB	17
Figura 12-2	LNBS: a. LNB con salida vertical/horizontal. b. LNB tipo twin con salidas de doble polaridad. c. LNB tipo quatro con salidas de banda baja y banda alta (V/H)	18
Figura 13-2	Diagrama de bloques de un LNB	19
Figura 14-2	Antena microstrip	20
Figura 15-2	Formas de los elementos de parche de una microstrip	20
Figura 16-2	Alimentación por línea microstrip	21
Figura 17-2	Alimentación por sonda coaxial	21
Figura 18-2	Alimentación por acoplamiento de apertura	22
Figura 19-2	Alimentación por acoplamiento de proximidad	22

Figura 20-2	Parche rectangular que fue implementado	24
Figura 21-2	Antena con arreglo refractario	25
Figura 22-2	(a) Parches de diferentes tamaños apilados, (b) Parche apertura - acoplada a la línea de retardo	25
Figura 1-4	Sistema de recepción de televisión digital satelital	31
Figura 2-4	Equipo TV EXPLORER HD	31
Figura 3-4	Potencia obtenida con la antena microstrip	32
Figura 4-4	Cálculo del Ancho de Banda (BW)	32
Figura 5-4	Constelación QPSK	34
Figura 6-4	Parámetros de la señal con los indicadores del estándar DVB-S	34
Figura 7-4	Antena off-set	36
Figura 8-4	Parámetros obtenidos con la antena off-set	36
Figura 9-4	Constelación QPSK utilizando la antena off-set	37
Figura 10-4	Señal con parámetros del estándar DVB-S	37
Figura 1-5	Definición de las capas con una configuración conductor-dieléctrico-conductor	41
Figura 2-5	Configuración del parche: posición y tamaño	42
Figura 3-5	Configuración de la frecuencia central de operación: 12 GHz	43
Figura 4-5	Configuración de frecuencias para la simulación	43
Figura 5-5	Gráfico del coeficiente de reflexión	44
Figura 6-5	Gráfico del coeficiente de reflexión después de variar el tamaño del parche	44
Figura 7-5	Gráfico del coeficiente de reflexión sobre los 12 GHz	45
Figura 8-5	Configuración de las optimizaciones paramétricas	46
Figura 9-5	Reporte de resultados con 9 diferentes dimensiones del parche circular	46
Figura 10-5	Definición del tamaño óptimo del parche circular	47
Figura 11-5	Cambio de fase de una antena microstrip plana con	

	arreglo reflectario	48
Figura 12-5	Parches circulares de diferentes tamaños para controlar el cambio de fase	49
Figura 13-5	Coefficiente de reflexión de la antena con arreglo reflectario infinito para 12 GHz	50
Figura 14-5	Respuestas de fase a 12 GHz para parches de tamaño variable	51
Figura 15-5	Mediante simulación se calcula del tamaño del parche circular y su posición	51
Figura 16-5	Posición, longitud y separación entre cada parche	52
Figura 17-5	Matriz 7x7. Antena con un arreglo reflectario formado por 49 parches	53
Figura 18-5	Patrón de radiación de un arreglo reflectario de 5x5 para 12 GHz	54
Figura 19-5	Patrón de radiación de un arreglo reflectario de 7x7 para 12 Ghz	54
Figura 20-5	Antena microstrip, finalizada en su diseño, que va a ser implementada	55
Figura 21-5	Antena microstrip, implementada en baquelita	56

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A.

Diseño de una antena con arreglo de parches reflectarios.

ANEXO B.

Valores para que las ondas incidentes se reflejen en un punto común.

RESUMEN

En este documento se ha realizado el estudio del estándar DVB-S (EN 300-421) el cual permite identificar los parámetros que rigen las transmisiones de señales digitales vía satélite. Así mismo, se efectuó el análisis de investigaciones realizadas con antenas microstrip que consideramos relevantes para el desarrollo del presente documento. A continuación, se realizó el análisis, diseño e implementación de una antena microstrip con arreglo refractario compuesta por un conjunto de parches circulares de 7×7 y como sustrato dieléctrico se usó baquelita que tiene una permitividad relativa $\epsilon_r = 4.8$ y grosor de 1.6 mm, todo esto para implementar un sistema de recepción de televisión digital satelital. Para el diseño de la antena de arreglo refractario se consideró la disposición de cada parche, así como su diámetro, lo que hizo que cada uno refleje la onda incidente con una fase diferente, con lo que se logró concentrar energía en un punto a 35 cm del centro del reflector; es decir, al LNB. Cada parche tiene una separación de 0.9 longitudes de onda, para esta distancia la longitud de onda se considera en el vacío. Esta antena funciona con la frecuencia de enlace descendente utilizada por el satélite Amazonas que fue de 12 GHz (banda Ku). Además, tiene un ancho de banda 6.25% para 12 GHz. Una vez construida la antena microstrip se implementó el sistema de recepción de televisión digital satelital para realizar las mediciones de los parámetros de la señal obtenida del satélite, lo que permitió efectuar un balance entre la antena microstrip implementada y una antena off-set lo que conllevó a considerar que se mejoró la calidad del servicio fundamentado en el estándar DVB-S.

Palabras claves: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA DE LAS COMUNICACIONES>, <INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES>, <DIGITAL VIDEO BROADCASTING (DVB-S)>, <ANTENAS>, <MICROSTRIP>, <SIMULACIÓN>

ABSTRACT

In this document, a DVB-S standard study (EN 300-421) has been carried out, which allows identifying the parameters that govern the transmissions of digital signals via satellite. Likewise, the analysis of investigations carried out with microstrip antennas that we consider that is relevant to the development of this document. Then, the analysis, design, and implementation of a microstrip antenna with refractory arrangement composed of a set of 7x7 circular patches was performed and as a dielectric substrate; Bakelite was used that has a relative permittivity $\epsilon_r = 4.8$ and thickness of 1.6 mm, all this to implement a digital satellite television reception system. For the design of the refractory array antenna, the disposition of each patch was considered, as well as its diameter, which made each one reflect the incident wave with a different phase, with which it was possible to concentrate energy at a point at 35 cm from the center of the reflector; that is, to the LNB. Each patch has a separation of 0.9 wavelengths, for this distance, the wavelength is considered in a vacuum. This antenna operates with the downlink frequency used by the Amazonas satellite which was 12 GHz (Ku band). Thus, it has a 6.25% bandwidth for 12 GHz. Once the microstrip antenna was built, the satellite digital television reception system was implemented to measure the parameters of the signal obtained from satellite, which allowed a balance between the implemented microstrip antenna and an offset antenna, which led to consider that the quality of service based on the DVB-S standard was improved.

Keywords: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES>, <COMMUNICATIONS TECHNOLOGY>, <TELECOMMUNICATION ENGINEERING>, <DIGITAL VIDEO BROADCASTING (DVB-S)>, <ANTENAS>, <MICROSTRIP>, <SIMULATION>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Considerando el incremento que ha sufrido el uso de las transmisiones de señales digitales, especialmente en servicios como la televisión paga y cómo este servicio ha utilizado varios medios para llegar a los hogares como el cable coaxial o antenas parabólicas para brindar dicho servicio, se hizo necesario revisar los diferentes parámetros estimados en los estándares que rigen la transmisión de señales. Considerando esto, el Instituto Europeo de estándares de Telecomunicaciones (ETSI, por sus siglas en inglés) ha definido varias normas, como por ejemplo el DVB (Digital Video Broadcasting) creado para normar las transmisiones digitales.

Detrás de este estándar se encuentran innumerables normas como el DVB-S [EN 300-421] para satélite, DVB-C [EN 300-429] para cable y DVB-T [EN 300-744] para redes terrestres. En este documento se ha realizado una revisión del estándar DVB-S que nos permitió definir, con el diseño e implementación de un sistema de recepción de televisión digital satelital, los parámetros de la señal en la recepción con la finalidad de obtener, con la mejor calidad posible, dicha señal.

Así mismo, el uso de antenas de diferentes tipos para la recepción de señales de televisión digital satelital ha ido en aumento, especialmente el uso de antenas off-set que usan las operadoras de televisión en nuestro país y a nivel mundial. En este contexto proponemos el diseño e implementación de una antena microstrip como una opción para mejorar la recepción de señales digitales satelitales.

1.1 Planteamiento del problema

Implementar un sistema de recepción de televisión digital satelital que mejore la calidad de recepción bajo el estándar DVB-S.

1.2 Situación problemática

Considerando que la televisión digital vía satélite no es más que la aplicación de la tecnología digital a la señal de televisión, para transmitirla, utilizando satélites de comunicaciones, a zonas geográficas amplias, lo que no sucede con la televisión terrestre o la televisión por cable en donde se utiliza el cable coaxial y actualmente más utilizada la fibra óptica.

En los hogares, es necesario tener una antena parabólica correctamente instalada para recibir la señal de televisión digital enviada por el satélite, con un seleccionador de bandas y amplificación llamado LNB (Low Noise Block, por sus siglas en inglés), además de un sintonizador de canales digitales abiertos o un decodificador para canales con servicio pagado.

1.3 Formulación del problema

¿El diseño e implementación de un sistema de recepción de televisión digital satelital permitirá mejorar la calidad del servicio fundamentado en el estándar DVB-S?

1.4 Preguntas directrices o específicas de la investigación

- a. ¿Conocer los fundamentos técnicos del estándar DVB-S permitirá evaluar la recepción de señales de televisión digital vía satélite?
- b. ¿El diseño e implementación de un sistema de recepción de televisión digital satelital permitirá medir los parámetros de calidad de la señal?
- c. ¿Evaluar los parámetros de la señal de televisión digital satelital permitirá determinar la calidad del servicio fundamentando en el estándar DVB-S?

1.5 Justificación de la investigación

La televisión digital vía satélite es uno de los servicios que más crecimiento ha tenido en las últimas décadas, se debe considerar que las antenas de recepción que se encuentran en el mercado, cumplen con los parámetros en cuanto a la calidad de recepción basado o fundamentado en el estándar DVB-S (Digital Video Broadcasting - Satellite). Con este antecedente, la comunidad que tiene el servicio de televisión digital vía satélite, tiene antenas sin conocer realmente si cumple o no dicho estándar.

La ejecución del proyecto permitirá:

- Realizar un estudio del estándar DVB-S que rigen a las transmisiones de televisión digital satelital a nivel mundial.
- Considerar como una opción la implementación de antenas microstrip para la recepción de señales de televisión digital satelital que permita mejorar la obtención de dichas señales.

1.6 Objetivos de la investigación

1.6.1 Objetivo General

Diseñar e implementar de un sistema de recepción de televisión digital satelital que permita mejorar la calidad de servicio fundamentado en el estándar DVB-S.

1.6.2. Objetivos específicos

- Elaborar el estado del arte de las antenas microstrip basado en el estándar DVB-S para conocer los fundamentos técnicos de la recepción de señales de televisión digital satelital.
- Diseñar e implementar un sistema de recepción de televisión digital satelital para medir los parámetros de calidad de la señal.
- Evaluar los parámetros de la señal de televisión digital satelital para mejorar la calidad del servicio fundamentando en el estándar DVB-S.

1.7 Hipótesis

1.7.1 Hipótesis general

El Diseño e implementación de un sistema de recepción de televisión digital satelital permitirá mejorar la calidad del servicio fundamentado en el estándar DVB-S.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

Las antenas de recepción de señales de televisión digital vía satélite deben ser evaluadas con los parámetros básicos de recepción para considerarlas como óptimas y obtener una buena calidad de servicio. Se ha considerado realizar la evaluación de dichos parámetros fundamentado en el estándar para la transmisión de televisión digital vía satélite como es el DVB-S (Digital Video Broadcasting - Satellite), el mismo que ha sido definido por el Instituto Europeo de estándares de Telecomunicaciones (ETSI, por sus siglas en inglés) y utilizado a nivel mundial.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 *El estándar Digital Video Broadcasting - DVB*

En el año de 1991 las entidades de telecomunicaciones de Europa, las fábricas de partes satelitales y los canales de televisión consideraron que se debía formar un grupo con la finalidad de comenzar a trabajar en la entrada de la televisión digital en la comunidad. La idea principal sería considerar la tecnología a ser utilizada. En 1993 se establece el proyecto Digital Video Broadcasting (DVB) que sería implementado primeramente en Europa y después en el resto de continentes. Para establecer la norma, se discutieron temas como la parte comercial y principalmente la parte técnica que, después de su aprobación fue enviado al ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones) para su normalización.

En la primera parte del trabajo se consideraron aspectos como implantar estándares para entregar televisión digital a la comunidad por los medios tradicionales. Aquí se desarrollaron los tres primeros estándares: DVB-S [EN 300-421] para satélite, DVB-C [EN 300-429] para cable y DVB-T [EN 300-744] para redes terrestres. Como complemento se definieron estándares para: servicios de información (DVB-SI), subtítulos (DVB-SUB) e interconexión (DVB-ASI) (Vrisk, 2009).

2.2.1.1 *La familia DVB (Digital Video Broadcasting)*

DVB está conformado por una serie de estándares definidos en la capa física y la capa de enlace de datos. Se seleccionó MPEG-2 para la codificación de la fuente cuya velocidad de transmisión es hasta 45 Mbps. DVB envía datos utilizando diferentes técnicas definidos específicamente en

estándares, como por ejemplo para satélite DVB-S, DVB-S2, DVB-SH y DVB-SMATV; para redes de cable DVB-C, DVB-C2; para televisión terrestre DVB-T, DVB-T2; también para televisión digital terrestre, principalmente para terminales de mano DVB-H, DVB-SH. (Vrisk, 2009).

Todos estos estándares se diferencian principalmente en el modo de modulación y en modo de corrección de errores.

2.2.1.2 El estándar Digital Video Broadcasting – Satellite, DVB-S

Uno de los estándares de DVB es DVB-S definido por la norma europea como EN 300-421. Específicamente utiliza modulación y codificación de canal para televisión digital, televisión de alta definición (HDTV, High Definition TV). Aquí el servicio puede ser usado en Fixed Satellite Service (FSS, Servicio Satelital Fijo) y Broadcast Satellite Service (BSS, Servicio de Radiodifusión por Satélite - SRS), Tabla 1-2.

Tabla 1-2: Asignaciones de frecuencia.

Servicio de radiocomunicaciones	Bandas de frecuencia típicas (Uplink / Downlink)	Terminología usual
Fixed Satellite Service (FSS)	6 / 4 GHz	Banda C
	8 / 7 GHz	Banda X
	14 / 12-11 GHz	Banda Ku
	30 / 20 GHz	Banda Ka
	50 / 40 GHz	Banda V
Broadcast Satellite Service (BSS)	2 / 2.2 GHz	Banda S
	12 GHz	Banda Ku
	2.6 / 2.5 GHz	Banda S

Fuente: (Maral G., 2006)

DVB-S fue creado para suministrar servicios de televisión digital por satélite para consumidores residenciales, denominado DTH (Direct To Home) y también para estaciones de servicios de televisión por cable. DVB-S ha establecido que para el servicio DTH por satélite las interferencias y el ruido son los principales problemas que se deben considerar. Para contrarrestar estos problemas DVB-S usa la modulación QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying) y para la codificación externa Reed-Salomon. La tasa de código convolucional puede configurarse para optimizar el rendimiento del sistema con anchos de banda determinado en el transpondedor del satélite.

DVB-S utiliza modulación QPSK y por consiguiente una misma tasa de codificación. La Tabla 2-2 muestra cómo opera DTH hoy en día.

DVB-S está configurado para un transpondedor de multiplexación por división de tiempo (TDM), pero puede utilizarse para servicios con aplicaciones de multiplexación por división de frecuencia (FDM) de múltiples portadoras. (EN300-421, 1997-08).

Tabla 2-2: Operatividad de DTH con el estándar DVB-S.

EIRP del Satélite [dBW]	44.5
Estándar	DVB-S
MOD – COD	QPSK 2/3
Roll Off	35 %
Tasa de símbolo [MBaud]	26.667
Tasa de bit [Mbps]	32.767
Número de canales SDTV	13 MPEG2 o 18 AVC
Número de canales HDTV	2 MPEG o 4 AVC

Fuente: (Valenzuela, 2010)

Si la señal recibida está por encima del umbral C/N y C/I, el Forward Error Correction (FEC), que es la técnica instaurada en el sistema, proporciona un objetivo de calidad "Cuasi Error Free" (QEF); es decir, menos de un evento de error no corregido/hora de transmisión, que corresponde al Bit Error Ratio (BER) = 10^{-10} a 10^{-11} en la entrada del demultiplexor MPEG-2. (EN300-421, 1997-08).

2.2.1.3 Arquitectura del sistema DVB-S

Considerando la norma EN 300-421, el sistema DVB-S está definido como el bloque de elementos que realizan la adaptación de las señales de banda-base con las características del canal del satélite desde el multiplexor de transporte MPEG-2 de salida. La secuencia de datos multiplexados, pasan por el adaptador de canal de satélite, específicamente por los siguientes elementos, como se muestra en la Figura 1-2.

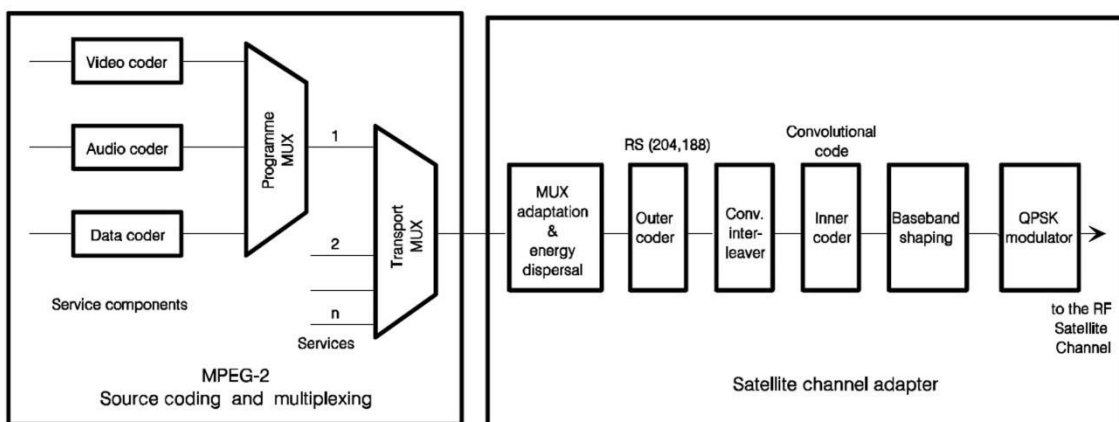


Figura 1-2. Diagrama de bloques DVB-S.

Fuente: (EN300-421, 1997-08).

Considerando la Figura 1-2 los procesos que se aplican a una secuencia de datos sería:

- a) Adaptación multiplexada de transporte y aleatorización para la dispersión de energía.
- b) Codificación externa (Reed-Solomon).
- c) Entrelazado convolucional.
- d) Codificación interna.
- e) Conformación de la banda-base para modulación.
- f) Modulación.

Los datos están constituidos en paquetes de longitud fija, paquetes que sigue al multiplexor de transporte MPEG-2, cuya longitud es de 188 bytes, incluye 1 byte para la sincronización.

a) Adaptación multiplexada de transporte y aleatorización para la dispersión de energía

Para la codificación de canal, se hace una aleatorización para la dispersión de energía con el objetivo de que transiciones binarias sean adecuadas. Los 187 bytes de datos del paquete multiplexado MPEG-2 de entrada son aleatorizados por un generador de Secuencia Binaria Pseudo Aleatoria (Pseudo Random Binary Sequence - PRBS) con polinomio $1 + X^{14} + X^{15}$. (Vrisk, 2009). Se incluye 1 byte de sincronización con lo que la longitud total del paquete será de 188 bytes.

Para cumplir con el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT y garantizar transiciones binarias adecuadas, los datos del múltiplex MPEG-2 de entrada se deben aleatorizar de acuerdo con la configuración representada en la Figura 2-2.

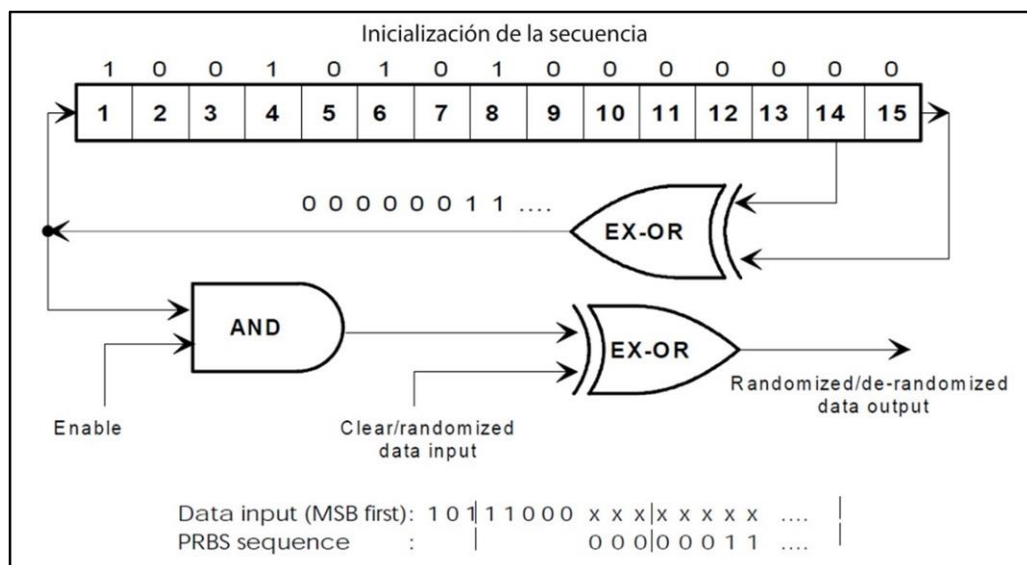


Figura 2-2. Diagrama de aleatorización y desaleatorización.

Fuente: (EN300-421, 1997-08).

El proceso de adaptación multiplexada de transporte, que se observa en la Figura 2-2, se realiza con la carga de la secuencia "100101010000000" en PRBS y se inicia al comienzo de cada 8 paquetes de transporte. El byte de sincronización MPEG-2 del primer paquete de transporte en un grupo de ocho paquetes se invierte bit a bit desde 47HEX a B8HEX, esto indica el inicio de la desaleatorización. (EN300-421, 1997-08).

b) Codificación externa (Reed Salomon)

Seguidamente, se aplica un Reed-Solomon RS (204, 188, T=8) que es un código acortado del bloque principal RS (255, 239, T=8); esto se hace a cada paquete de transporte de 188 bytes que fueron aleatorizados en el paso anterior, Figura 3-2. Se debe considerar que 1 byte se usa para generar un paquete protegido contra errores, Figura 4-2. La codificación de bloques RS genera paquetes de 204 bytes, en donde se realiza una secuencia de verificación de 16 bytes. Esta verificación adicional hace que el decodificador corrija errores de hasta 8 bits en los 188 bytes válidos.

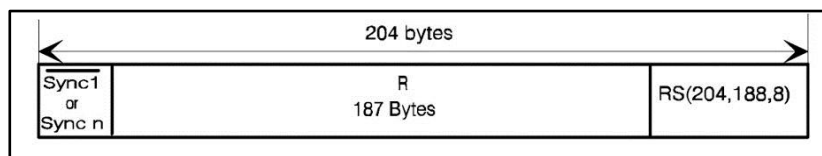


Figura 3-2. Paquetes de transporte aleatorizados. Sincronización de bytes y secuencia aleatoria.

Fuente: (EN300-421, 1997-08).

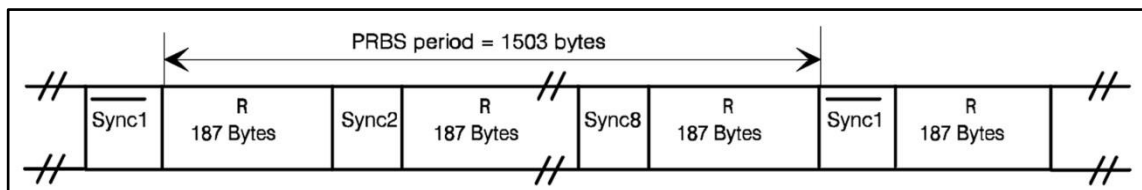


Figura 4-2. RS (204,188, T=8) Paquete protegido contra errores.

Fuente: (Vrisk, 2009).

La estructura del paquete después del codificador externo, Figura 4-2, sería: 1 byte para la sincronización, 187 bytes de datos aleatorizados y la secuencia de verificación (bits de comprobación de paridad) de 16 bits generados por el codificador RS.

c) Entrelazado convolucional

Es usado para proteger la transmisión de los errores de ráfaga que van apareciendo y se van acumulando. Los errores de ráfaga pueden sobrescribir una gran cantidad de bits en una fila.

Aquí el proceso de corrección de errores espera que ellos se distribuyan de manera uniforme, pero a veces no sucede eso. Para contrarrestar este efecto, se usa el entrelazado para irradiar las ráfagas de error.

En la norma EN 300-421, se utiliza el entrelazado convolucional con profundidad de 12 para proteger a los paquetes contra los errores, dando como resultado una estructura de entramado intercalada.

d) Codificación interna

En esta etapa las tramas sufren una segunda codificación que es la codificación convolucional; una codificación interna.

En la norma EN 300-421, el sistema DVB-S, por la flexibilidad de la codificación convolucional, define un conjunto de razones a ser implementadas, con tasas de codificación de 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8, y con longitud restrictiva de $K = 7$. La longitud restrictiva representa el número de etapas de K-tupla en un registro de desplazamiento en un codificador convolucional. (Vrisk, 2009).

Las portadoras con las cuales opera DVB-S son moduladas utilizando QPSK y una misma tasa de codificación formadas por códigos convolucionales y códigos de bloque. El factor de Roll-off es 35% que, para utilizar un transpondedor de 36 MHz se dispone de una tasa de símbolos de 26,67 MBaud. Con una modulación QPSK y un EIRP del satélite de 44,5 dBW, el margen obtenido se observa en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Margen del sistema con una modulación QPSK y Roll-Off de 35%.

Parámetros	FEC Code				
	Tasa 7/8	Tasa 5/6	Tasa 3/4	Tasa 2/3	Tasa 1/2
Tasa de bit [Mbps]	43,007	40,959	36,863	32,767	24,575
Eb/No Ideal [dB]	6,400	6,000	5,500	5,000	4,500
Eb/No Obtenido [dB]	6,325	6,537	6,994	7,506	8,755
Margen [dB]	-0,075	0,537	1,494	2,506	4,255

Fuente: (Valenzuela, 2010)

Observando la Tabla 3-2 se puede determinar el número de canales para SDTV como para HDTV con las codificaciones establecidas en el estándar DVB-S.

e) Conformación de la base-banda y Modulación

Como ya se indicó anteriormente en la norma EN 300.421, DVB-S utiliza la modulación QPSK Gray-coded ($m = 2$ bit), con mapeo absoluto; es decir, no se utiliza la codificación diferencial.

En la Figura 5-2 se muestra el mapeo de bits de la señal. Las señales I y Q son representadas por una sucesión de funciones delta Dirac espaciadas por la duración del símbolo $T_s = 1/R_s$, con el signo correcto.

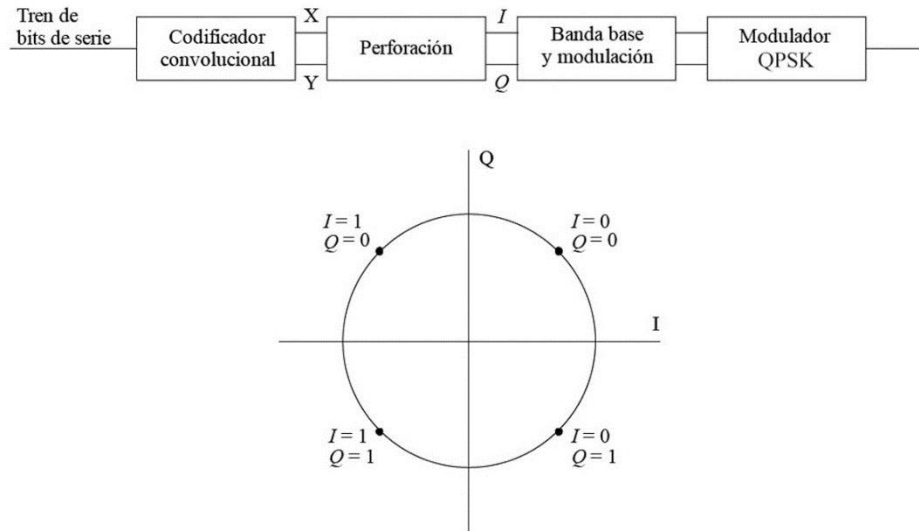


Figura 5-2. Mapeo de bits en la constelación QPSK.

Fuente: (EN300-421, 1997-08).

Para la formación de la señal de banda-base definitiva, las señales I y Q son filtradas. En la norma EN 300-421 se define como el factor de Roll-off del filtrado de Nyquist de 35 %; o $\alpha = 0.35$. (EN300-421, 1997-08). Es decir, si se define un filtrado excelente, la transmisión digital que ocupa un determinado ancho de banda en MHz, con el filtrado el ancho de banda aumenta un 35 %.

El filtro Raíz cuadrada de coseno alzado será una función teórica:

$$H(f) = 1 \text{ para } |f| < f_N(1 - \alpha)$$

$$H(f) = \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{2f_N} \left[\frac{f_N - |f|}{\alpha} \right] \right\}^{1/2} \text{ para } f_N(1 - \alpha) \leq |f| \leq f_N(1 + \alpha)$$

$$H(f) = 0 \text{ para } |f| > f_N(1 + \alpha)$$

Dónde:

$$f_N = \frac{1}{2T_s} = \frac{R_s}{2}$$

Es la frecuencia de Nyquist y α es el factor de Roll-off, $\alpha = 0.35$.

f) Modulación

Finalmente, la modulación de cuadratura se obtiene multiplicando las componentes en fase (I) por el $\sin(2\pi f_0 t)$ y cuadratura (Q) por el $\cos(2\pi f_0 t)$, todo esto después del filtrado de banda-base. f_0 es la frecuencia portadora. Las señales se suman para conseguir la señal de salida de radiofrecuencia - RF modulada.

2.2.1.4 El transpondedor del satélite

Como se mencionó anteriormente, las transmisiones de televisión digital utilizarán satélites en las bandas SFS y SRS. El ancho de banda del transpondedor será configurado por el satélite, así como también las tasas de datos que son necesarias para brindar el servicio.

2.2.1.5 Interconexión

Para el funcionamiento del sistema, se tiene ya caracterizado las interfaces como que se muestran en la Tabla 4-2:

Tabla 4-2: Sistema de interfaces.

Localización	Interface	Tipo de interface	Conexión
Estación de transmisión	Entrada	MPEG-2 transport multiplex	from MPEG-2 multiplexer
	Salida	70/140 MHz IF	to RF devices
En la recepción	Salida	MPEG-2 transport multiplex	to MPEG-2 demultiplexer
	Entrada	TBD	from RF devices (indoor unit)

Fuente: (EN300-421, 1997-08).

2.2.2 Sistemas de recepción de televisión digital satelital

Los sistemas de recepción de señales de televisión digital satelital, constan de elementos necesarios para la recepción de señales de radiofrecuencia provenientes de satélite y vamos a considerar los siguientes:

- Antena parabólica
- Convertidor de bajo ruido
- Decodificador

En estos elementos se deben considerar algunos parámetros como por ejemplo las bandas de frecuencias que se utilizan en las emisiones de señales de televisión satelital, la polarización de las señales radioeléctricas y la cobertura de los satélites.

2.2.2.1 Bandas de frecuencias en televisión satelital

Dentro de las transmisiones satelitales se utilizan bandas de frecuencias altas cuya ventaja es que se puede transmitir mayor cantidad de datos por segundo, lo que conlleva a tener información más detallada y de mejor calidad. La principal desventaja es su relación con el clima, especialmente la lluvia y la humedad que pueden degradar la calidad de la señal. Las bandas de frecuencias que se usan en las transmisiones satelitales son: L, S, C, X, Ku, K y Ka. Dentro del presente trabajo la banda en la que se trabajó es la banda Ku, utilizada por los satélites de comunicaciones para enviar y recibir video, sonido y datos. La Tabla 5-2 muestra los rangos de frecuencias utilizados en la banda Ku.

Tabla 5-2: Frecuencias consideradas en la banda Ku.

	Denominación	Frecuencias
Ku	Downlink: FSS	11.700 - 12.200 GHz
	DBS	12.200 - 12.700 GHz
	Uplink: FSS	14.000 - 14.500 GHz
	DBS	17.300 - 17.800 GHz

Fuente: (Ruiz V., 2002).

2.2.2.2 Polarización de las señales de televisión satelital

La polarización es una técnica para aumentar el número de canales a transmitirse en cada una de las bandas. La polarización que es una característica de las ondas electromagnéticas y dependerá de la posición de la antena del sistema que emite las señales. Los campos eléctrico y magnético forman las ondas electromagnéticas. El vector campo eléctrico tiene la misma dirección de la antena, mientras que el vector campo magnético es perpendicular al vector campo eléctrico. (Ruiz V., 2002). Las polarizaciones utilizadas en las emisiones de televisión satelital son: en FSS la Polarización lineal horizontal o vertical. En DBS la Polarización circular a derechas o a izquierdas, Figura 6-2.

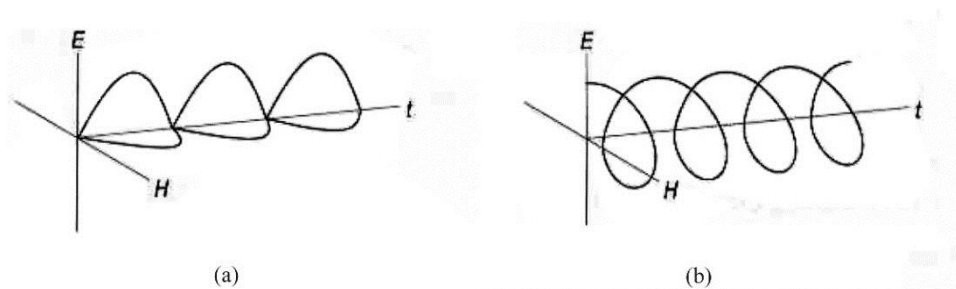


Figura 6-2. Polarizaciones: (a) Polarización lineal vertical.
(b) Polarización circular a derechas o a izquierdas.

Fuente: (Ruiz V., 2002).

2.2.2.3 Cobertura de los satélites

La cobertura del satélite o huella es la superficie terrestre bajo el cual el satélite emite un flujo de potencia constante. Los satélites tienen su propia zona de cobertura. La máxima potencia de la señal se tiene en el centro de la huella, en los bordes la potencia es baja.

2.2.2.4 Antena parabólica

La antena parabólica es la responsable de captar las señales provenientes del satélite. La calidad de la señal dependerá exclusivamente del diseño de estas antenas. Actualmente las antenas son diseñadas en superficies circulares y parabólicas. La señal que es reflejada en la superficie se dirige hacia un punto o varios puntos denominados puntos focales en donde está ubicado el convertidor de bajo ruido.

Hay que tomar en cuenta una serie de condicionamientos para que la señal que llega a la antena parabólica cumpla con las expectativas de calidad. Ellas son:

a) *Parámetros de la señal de televisión satelital.*

Desde el satélite, la señal que emite está formada por varios parámetros que son, (Ruiz V., 2002):

- Polarización lineal o circular.
- Señal modulada en frecuencia (FM). Esta modulación permite que los detectores de FM sean más inmunes al ruido, por consiguiente, disminuye la potencia de transmisión.
- El ancho de banda es variable entre 27,32 y 36 MHz.
- Desviación de frecuencia variable, según canal.
- Preénfasis en vídeo; es decir, se incrementa la desviación de frecuencia en las altas frecuencias de la señal en banda-base, con lo cual se mejora la relación señal/ruido.
- Señal en audio modulada en frecuencia (FM).
- Entre 5,5 y 8 MHz, la señal de audio se separa de la de vídeo.

b) *Partes de una antena parabólica*

Considerando que la potencia de la señal de los satélites es pequeña, en el orden de los 200 W, hay que definir antenas con alta ganancia que superen los 45 dB. En general las partes de una antena, como se muestran en la Figura 7-2, define en forma general, cómo están construidas las antenas parabólicas.

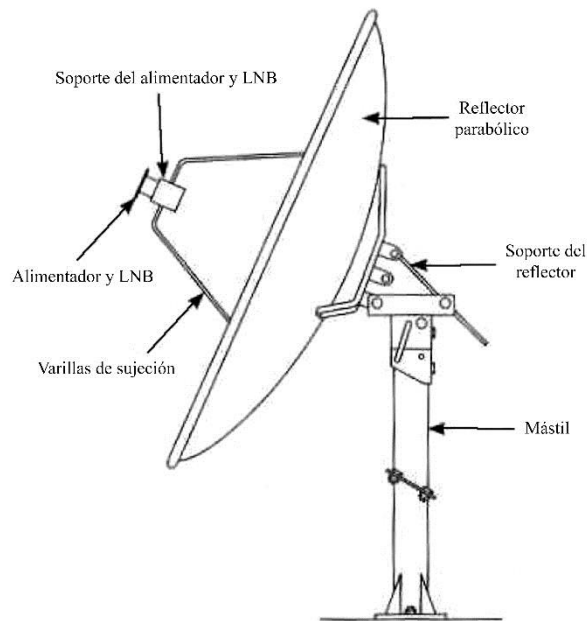


Figura 7-2. Representación general de las partes de una antena parabólica.

Fuente: (Ruiz V., 2002).

c) Características técnicas de una antena parabólica.

Para considerar una antena parabólica, se deben tomar en cuenta las siguientes características técnicas (Ruiz V., 2002):

- **Diámetro del plato reflector:** se debe considerar la parte geográfica en donde se instalará la antena y también la cobertura del satélite o la potencia de la señal del satélite.
- **Ganancia (G):** es la cantidad de señal captada que se concentra en el alimentador. Hay que considerar tres factores.
 - Superficie del reflector, mientras más grande su diámetro, más energía captada. Si la frecuencia es alta el diámetro disminuye.
 - Frecuencia de recepción, por ejemplo, en la banda Ku (11 GHz) se necesitan reflectores de un diámetro menor, no así en la banda C (4 GHz).
 - Exactitud geométrica, precisión en la fabricación del reflector parabólico.

Se calcular la ganancia de una antena parabólica se utiliza la siguiente expresión:

$$G = 10 \log \left[\left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \right] \eta$$

dónde:

G = Ganancia del reflector en dB

η = Rendimiento de la antena en tanto por uno.

D= Diámetro del reflector en metros.
 λ = Longitud de onda de la señal a recibir en m.

- **Rendimiento:** es la relación entre la cantidad de energía que incide en el reflector versus la cantidad de energía concentrada en el alimentador o foco. El rendimiento puede calcularse con un analizador de espectros. Un rendimiento aceptable está determinado en no menos de 55 % ni mayor a 65 %.
- **Relación D/F:** debe alcanzar una relación exacta entre el diámetro (D) del reflector, el foco (F) y la profundidad del reflector de la antenna parabólica, con esto se obtiene un rendimiento del 60 %.
- **Ángulo de radiación:** es el ángulo en el cual la señal captada por el reflector se mantiene entre 50 % y 100 % de la potencia máxima de la señal; es decir, el ángulo de la antenna con respecto a la dirección del satélite hasta que tiene una atenuación de 3 dB.
- **Lóbulos principal y secundarios:** para captar la máxima energía dentro de un ángulo muy pequeño, la ganancia de la antenna y el ángulo de radiación hace que esto suceda.

En un sistema de coordenadas polares podemos analizar la ganancia con respecto al ángulo de la antenna y el satélite, en donde se obtienen lóbulos como se muestra en la Figura 8-2.

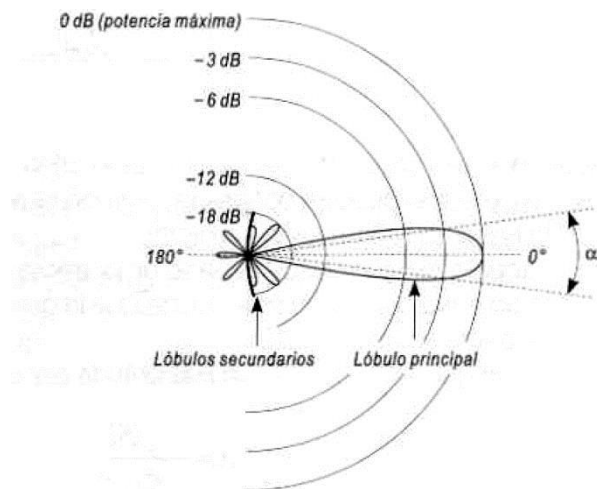


Figura 8-2. Representación polar de la ganancia en función del ángulo de la antenna con el satélite.

Fuente: (Ruiz V., 2002).

- **Ancho de banda:** indica la banda de frecuencias para las cuales fue diseñada.
- **Temperatura de ruido:** indica el ruido del ambiente como lluvia, calor, etc., y del espacio exterior como el ruido atmosférico y el galáctico.

d) Eficiencia

Indica la efectividad que se obtiene por la cantidad de señal captada por el reflector, el alimentador y el LNB. Se considera una buena eficiencia con un parámetro sobre el 70 %.

e) Reflectores de antenas parabólica

Hay de diferentes materiales y se fabrican con diversos métodos. Deben mantener su forma por mucho tiempo considerando las variaciones climáticas. Los materiales con que se fabrican son duraluminio, chapa de acero, malla metálica, fibra de vidrio epóxico, plásticos recubiertos de capas metálicas. Considerando a los reflectores las antenas parabólicas se pueden clasificar en:

- Antenas parabólicas de foco centrado, Figura 9-2 a.
- Antenas offset, Figura 9-2 b.
- Antenas Cassegrain, Figura 9-2 c.

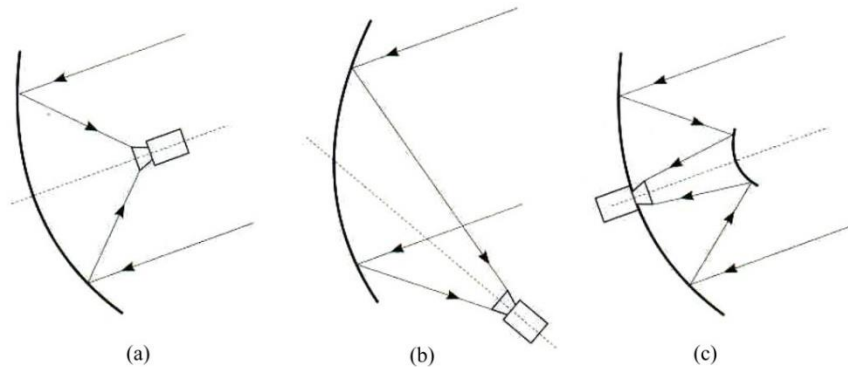


Figura 9-2. Reflectores: **a.** Antena de foco centrado. **b.** Antena offset. **c.** Antena Cassegrain.

Fuente: (Ruiz V., 2002).

Las antenas offset hoy en día son las más utilizadas por las operadoras de televisión digital satelital.

2.2.2.5 Convertidor de bajo ruido

Mecanismo instalado en la antena parabólica. El objetivo es recoger la señal reflejada por la antena parabólica y convertirla en una Frecuencia Intermedia - FI de 950 a 1.750 MHz, cuando ésta trabaja en la banda Ku. Está compuesta por el *alimentador* y el *Low Noise Block* - LNB.

a) El alimentador

La señal reflejada por la antena parabólica es captada por el *alimentador* y este se encarga de guiarla hacia el LNB. Está formado por los siguientes elementos:

- La bocina
- La guía de ondas
- La sonda o antena
- El polarizador

b) El LNB

Aquí, la señal que viene desde el alimentador se amplifica y es convertida a una frecuencia más baja, llamada frecuencia intermedia (FI). La señal viaja por cable coaxial hacia el decodificador y de allí al televisor. Un LNB consta de:

- Amplificador de bajo ruido.
- Conversor a Frecuencia Intermedia - FI.

En la Figura 10-2 se muestra el esquema del alimentador y el LNB, y en la Figura 11-2 se muestra el diagrama de bloques.

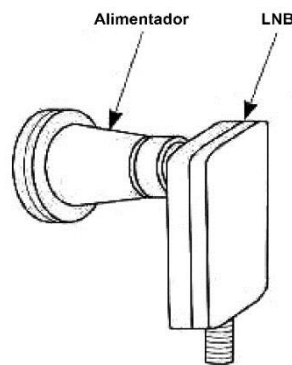


Figura 10-2. Alimentador y LNB.

Fuente: (Ruiz V., 2002).

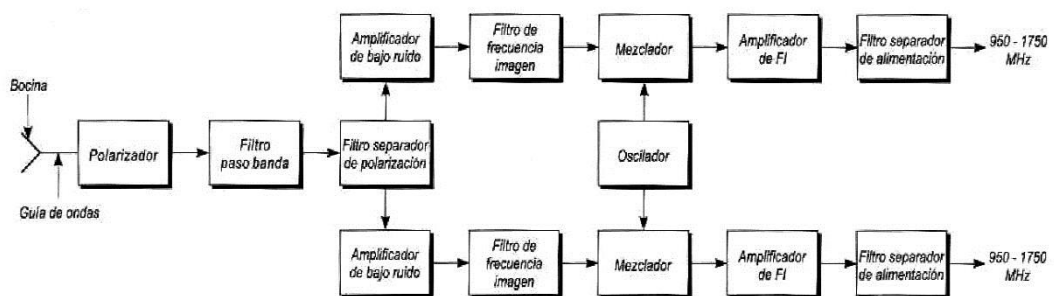


Figura 11-2. Diagrama de bloques del alimentador y el LNB.

Fuente: (Ruiz V., 2002).

En décadas pasadas se empleaban LNBs que funcionaban en la banda baja, es decir, frecuencias de 10,7 y 11,7 GHz. Ahora con la aparición de transmisiones digitales a la banda alta, es decir

frecuencias de 11,7 a 12,75 GHz, se utiliza los llamados LNBS universales, que amplifican y convierten todas las bandas de frecuencias:

- DBS, de 11,7a12,5 GHz.
- FSS baja, de 10,7 a 11,7 GHz.
- FSS alta, de 12,5 a 12,75 GHz.

La Figura 12-2 muestra varios ejemplos de LNBS.

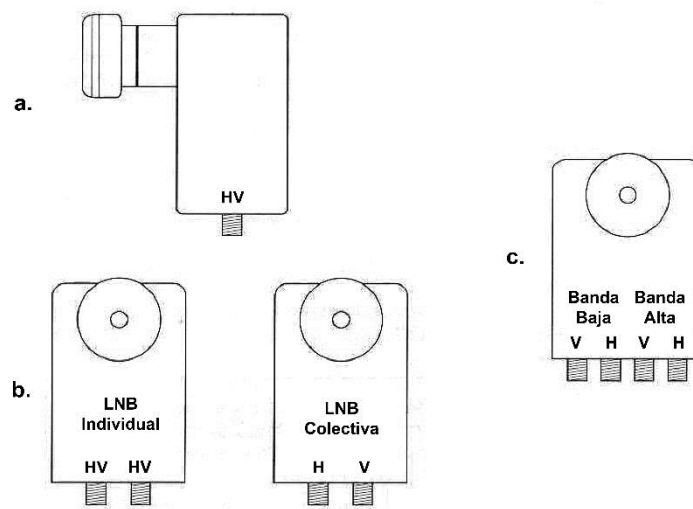


Figura 12-2. LNBS: **a.** LNB con salida vertical/horizontal. **b.** LNB tipo twin con salidas de doble polaridad. **c.** LNB tipo cuatro con salidas de banda baja y banda alta (V/H).

Fuente: (Ruiz V., 2002).

La banda baja o la banda alta son seleccionadas en el LNB con un tono de 22 kHz generado en el receptor digital del satélite. Cuando se aplica una tensión de 13 o 18 V, la polarización vertical u horizontal es seleccionada. Hoy en día hay LNBS con ganancias superiores a 50 dB y componentes de ruido menores a 1 dB. La salida del LNB, utilizando cable coaxial se conecta al decodificador.

Un LNB está compuesto por: (Figura 13-2):

- El preamplificador de bajo ruido o LNA (Low Noise Amplifier).
- El filtro paso banda de frecuencia imagen.
- El conversor. formado, como cualquier otro circuito electrónico de esta clase, por una etapa mezcladora y un oscilador local.
- Un segundo filtro paso banda.

- El amplificador de FI.

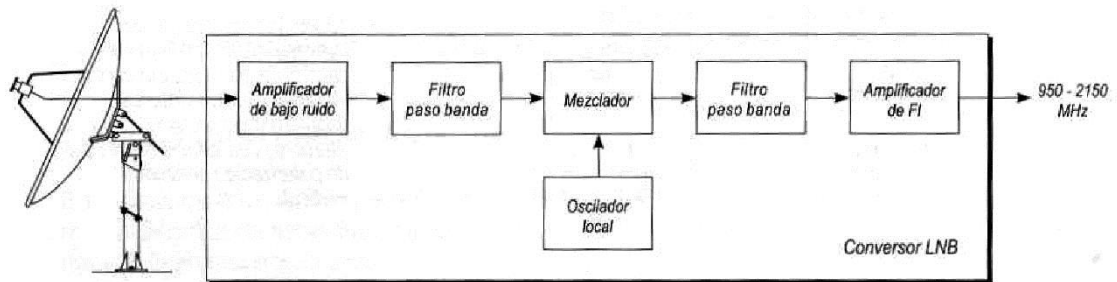


Figura 13-2. Diagrama de bloques de un LNB.

Fuente: (Ruiz V., 2002).

2.2.3 Antenas microstrip

Son antenas de bajo perfil, que se pueden adaptar a superficies planas o no planas. Su diseño puede llegar a ser complejo, dependiendo de las necesidades en la recepción. Se usan principalmente en satélites y naves espaciales ya que se consideran características como peso, tamaño, eficiencia, costo, etc. Dependiendo del diseño, específicamente de su forma y el modo de parche, son muy variables en términos de frecuencia de resonancia, polarización e impedancia.

Se debe considerar que estas antenas tienen baja eficiencia, potencia, polarización y un ancho de banda muy angosto. Sin embargo, se puede incrementar la altura del sustrato para incrementar la eficiencia hasta en un 90 % y el ancho de banda hasta el 35 %. Hay que tener cuidado porque a medida que se incrementa la altura se introducen ondas superficiales que no son deseables que disminuye el esquema de la antena y los parámetros de polarización.

2.2.3.1 Características básicas de las antenas microstrip.

Las antenas microstrip consisten en una tira metálica muy delgada denominada parche, en el que $t \ll \lambda_0$ (λ_0 = longitud de onda del espacio libre), puesto sobre un sustrato dieléctrico cuyo grosor ($h = \lambda_0$) varía entre $0.003\lambda_0$ y $0.05\lambda_0$. El sustrato está sobre un plano de tierra.

El parche de la microstrip está diseñado para que su eficiencia máxima sea normal al parche. Esto se consigue eligiendo el modo de excitación debajo del parche. El parche y el plano de tierra están separados por una lámina dieléctrica llamada sustrato, como se observa en la Figura 14-2. (Balanis, 2005).

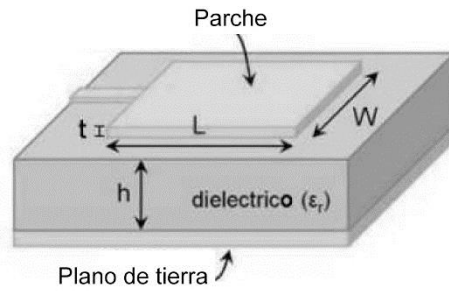


Figura 14-2. Antena microstrip.

Fuente: (Hernández, 2016).

En el mercado hay muchos tipos de sustratos que se utilizan para la implementación de las antenas microstrip. Las constantes dieléctricas de los sustratos tienen un rango de $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$. Los sustratos gruesos son los que más se utilizan ya que tienen un buen rendimiento ya que su constante dieléctrica está cerca del extremo inferior lo que ayuda a una mayor eficiencia y un ancho de banda mayor. En lo que respecta a los sustratos delgados, se utilizan más en circuitos de microonda ya que tienen anchos de banda pequeños. Con estas consideraciones en las antenas microstrip se debe tener una relación estrecha entre el rendimiento y el diseño. (Balanis, 2005).

A las antenas microstrip se le conocen como antenas de parche. El diseño generalmente se implementa en un sustrato dieléctrico. El parche, que es el elemento radiante, puede ser circular, elíptico, triangular, rectangular, cuadrado, tira delgada (dipolo), o cualquier otra forma como se puede observar en la Figura 15-2. Las formas cuadradas, rectangulares, dipolos y circulares son los más utilizadas por su fácil diseño y fabricación, también por sus parámetros de radiación.

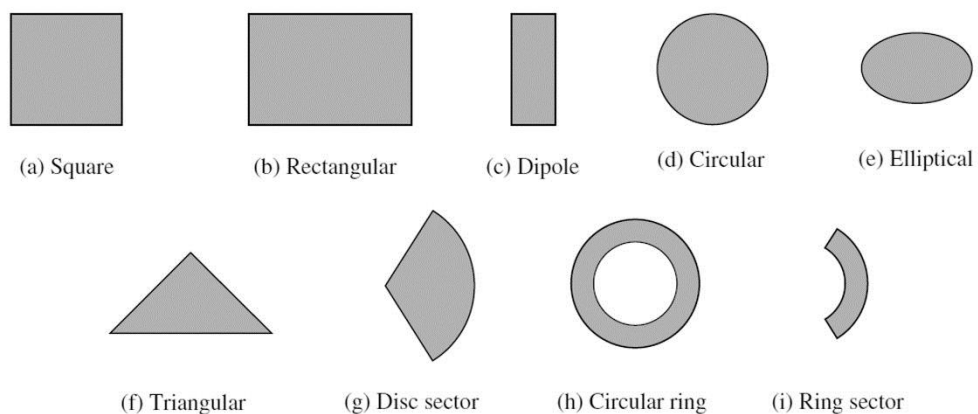


Figura 15-2. Formas de los elementos de parche de una microstrip.

Fuente: (Balanis, 2005).

2.2.3.2 Alimentación de las antenas microstrip

Hay muchos métodos para alimentar las antenas microstrip. Los más usados son: la línea microstrip o microcinta, la sonda coaxial, el acoplamiento de apertura y el acoplamiento de proximidad. El acoplamiento de proximidad posee mayor ancho de banda, como 13 % más, fácil de modelar y tiene baja radiación espuria. Su fabricación puede resultar un poco más difícil.

- a) **Línea microstrip:** también es una línea conductora, de ancho más pequeño que el parche. Fácil de fabricar y bastante simple de modelar como se puede observar en la Figura 16-2. Hay que considerar que a medida que se aumenta el grosor del sustrato se desarrollan ondas superficiales y la radiación espuria que limitan el ancho de banda (comúnmente 2-5%). (Balanis, 2005).
- b) **Sonda coaxial:** el conductor interno del cable coaxial está unido al parche de radiación y el conductor externo está conectado al plano de tierra. Fácil de fabricar y combinar como se puede observar en la Figura 17-2. Tiene baja radiación espuria. Presenta un ancho de banda estrecho y es más difícil de modelar, principalmente en sustratos gruesos ($h > 0.02\lambda_0$). (Balanis, 2005).

Los dos tipos de alimentación mencionados anteriormente tienen asimetrías inherentes que forman modos de orden superior que causan radiación con polarización cruzada. Para contrarrestar estos problemas se han definido los siguientes métodos de alimentación.

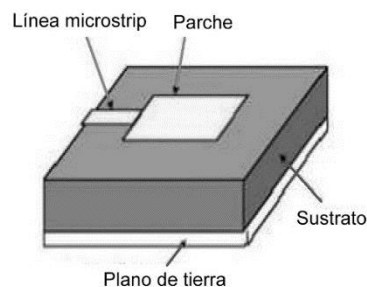


Figura 16-2. Alimentación por línea microstrip.

Fuente: (Hernández, 2016).

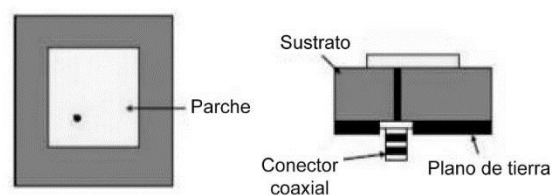


Figura 17-2. Alimentación por sonda coaxial.

Fuente: (Hernández, 2016).

- c) **Acoplamiento de apertura:** es el más difícil de fabricar entre los mencionados en este documento. Tiene un ancho de banda estrecho. Es fácil de modelar y tiene radiación espuria moderada. Consta de dos sustratos separados por un plano de tierra como se muestra en la Figura 18-2. Una línea de alimentación de microstrip está en el lado inferior del sustrato, cuya energía está acoplada al parche a través de una ranura en el plano de tierra. Esto permite la optimización independiente del mecanismo de alimentación y el elemento radiante. (Balanis, 2005).
- d) **Acoplamiento de proximidad:** Posee el mayor ancho de banda (tanto como 13 %). Fácil de modelar y tiene radiación espuria baja. Fabricarlo puede ser algo más difícil, su configuración se puede ver en la Figura 19-2. (Balanis, 2005).

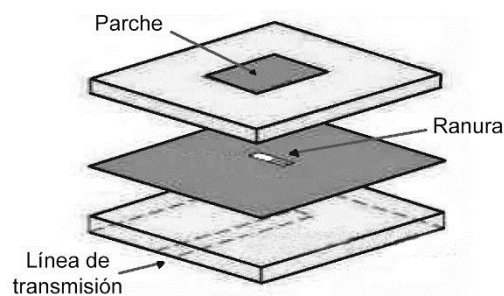


Figura 18-2. Alimentación por acoplamiento de apertura.

Fuente: (Hernández, 2016).

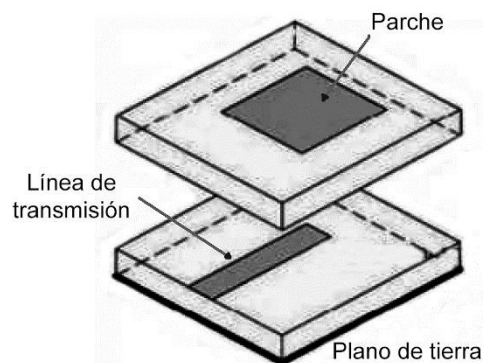


Figura 19-2. Alimentación por acoplamiento de proximidad.

Fuente: (Hernández, 2016).

2.2.3.3 Métodos de análisis

Se consideran algunos métodos de análisis, los más utilizados son: *onda completa*, *línea de transmisión* y *cavidad*. Con el método de *línea de transmisión* se consigue buena percepción física y es menos preciso y el acoplamiento es complejo de modelar. El método de *cavidad* es más preciso por su elevada complejidad, tiene buena percepción física y el acoplamiento es muy

complejo de modelar. El modelo de *onda completa*, son mucho más complejos y muy precisos se pueden manipular fácilmente sus parámetros; sin embargo, brindan menos información física. (Balanis, 2005).

2.2.4 Estado del arte: las antenas microstrip

La variedad de utilidades y aplicaciones que se les está dando hoy en día a las antenas microstrip es muy amplia. Vamos a considerar algunas investigaciones que se han desarrollado e implementado utilizando antenas microstrip, así como también metodológicas de diseño que han ayudado al desarrollo del presente documento:

a) Diseño, simulación y comparación de antenas microstrip a una frecuencia de 2.4 GHz.

En este trabajo el autor realiza un estudio detallado de las antenas microstrip, especialmente haciendo énfasis en parches de formas geométricas diferentes y que son usados hoy en día. Realiza el diseño de dos antenas microstrip, una con parche circular y otra con parche rectangular, las dos a una frecuencia de 2.4 GHz. Esta frecuencia es empleada en los enlaces inalámbricos. Para el diseño utiliza el software Ansoft Designer. Realiza un análisis comparativo considerando los diferentes parámetros proyectados por las simulaciones como son pérdida de retorno, ganancia, patrón de radiación, directividad. Los resultados se muestran en la tabla 6-2. Como conclusión define que la antena microstrip de parche circular muestra mejor directividad y resulta adecuada para redes de enlaces inalámbricos. (Hernández, 2016).

Tabla 6-2: Comparación de antenas microstrip de parches circular y rectangular.

Aspectos	Parche circular	Parche rectangular
Impedancia de entrada	56.998 Ω	53.869 Ω
Ganancia	4.8572	4.0861
Directividad	4.9787	4.2252
Eficiencia	0.9755	0.9670
Pérdida de retorno	-13.98	-27.96
Coefficiente de reflexión	5.0118	25.1188
ROE	1.4987	1.0829

Fuente: (Hernández, 2016)

b) Estudio, diseño y construcción de un prototipo de arreglo de antenas microstrip para recepción en la banda X comparable a la ganancia de una antena parabólica.

En este trabajo se realiza la implementación de un prototipo de arreglo de antenas microstrip para la recepción de frecuencias de 8 a 12 GHz que corresponden a la banda x. En el trabajo se comprobó que en este tipo de implementaciones se puede tener ganancias que superan los 20 dB.

Para la implementación se considera la fibra de vidrio FR-4 como sustrato cuyas características técnicas permiten obtener mayor ancho de banda, pero sacrificando la eficiencia de la antena. Este sustrato tiene una constante dieléctrica $\epsilon_r = 4.4$

Primeramente, realiza el diseño de un parche rectangular en cuyas simulaciones se obtiene una ganancia de entre 3 a 7 dB, como se muestra en la Figura 20-2.

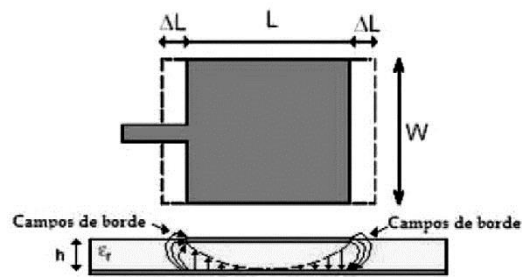


Figura 20-2. Parche rectangular que fue implementado.

Fuente: (Jaramillo & Quishpe, 2013).

Considerando el diseño del parche rectangular y obteniendo los resultados esperados, se diseñaron e implementaron arreglos de 16 y 64 parches. Al realizar las distintas pruebas se pudo obtener una ganancia de 25.36 dB que es casi similar a la ganancia de una antena parabólica con un diámetro de 30.48 cm. (Jaramillo & Quishpe, 2013).

c) **Analysis, Design and Applications of Reflectarrays.**

En este documento se presenta técnicas de diseño eficiente y análisis de antenas con arreglo reflectario. La técnica basada en la periodicidad local y el Método de Momentos en Dominio Espectral han sido presentadas como muy eficientes para el análisis de este tipo de antenas. En base a esta técnica se implementaron varios diseños para diferentes características de antenas, como por ejemplo ancho de banda, frecuencia doble, entre otros (Encinar, 2008).

El autor define al arreglo reflectario como una matriz de elementos radiantes configuradas con una fase predefinida para formar un enfoque o haz conformado, como se muestra en la Figura 21-2.

Considerando algunos parámetros geométricos se puede obtener el desplazamiento de fase preciso para cada uno de los elementos del arreglo reflectario. En este documento se consideran los parches de un arreglo reflectario, como se muestra en la Figura 22-2, específicamente parches apilados con diferentes tamaños, según el autor, proporcionan muy buen rendimiento de ancho de banda (Encinar, 2008).

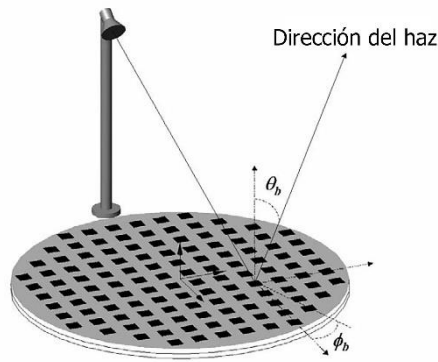


Figura 21-2. Antena con arreglo reflectario.

Fuente: (Encinar, 2008).

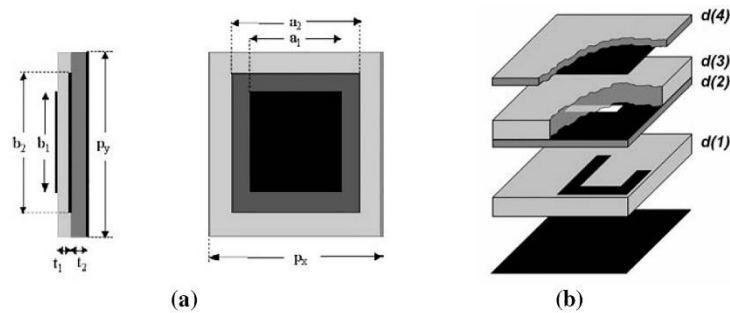


Figura 22-2. (a) Parches de diferentes tamaños apilados, (b) Parche apertura - acoplada a la línea de retardo.

Fuente: (Encinar, 2008).

Los arreglos reflectarios son implementados sobre un sustrato plano utilizando la tecnología de circuito impreso con la posibilidad de direccionar el haz como arreglos en fase. Una de las principales desventajas de los arreglos reflectarios es un bajo rendimiento en banda estrecha, que, según el autor, en investigaciones recientes, basados en los elementos que se muestran en la Figura 22-2 han logrado avances significativos sobre esta limitación.

Los arreglos reflectarios han demostrado su capacidad para producir haces fijos y contornos fijos, con técnicas de fotograbado simple. Además, el documento menciona que se han desarrollado arreglos reflectarios con la posibilidad de reconfigurar el haz, utilizando dispositivos de control en los elementos reflectantes.

d) Diseño y construcción de una antena tipo patch en la banda de 5.4 GHz.

Este trabajo inicia haciendo un análisis de la teoría de antenas, hace énfasis en los tipos de antenas parche, las características del sustrato como espesor, constante dieléctrica y las pérdidas, también los parámetros para su diseño como ganancia, patrón de radiación, parámetro

S, VSWR (Voltaje Standing Wave Ratio), ancho de banda y frecuencia de resonancia. (Vaca & Venegas, 2011).

Después del análisis teórico, para el diseño de la antena tipo patch se configuraron los siguientes pasos: diseño del patch, diseño de la antena y diseño de la alimentación. (Vaca & Venegas, 2011).

Para realizar las simulaciones y obtener resultados se utilizó el software IE3D, el cual permitió definir de manera optimizada las características de la antena y el cálculo de los parámetros para su implementación. El software permitió también afinar los diferentes parámetros de la antena para tener un mejor balance sobre el comportamiento de la antena.

En el diseño del patch utiliza fórmulas para el cálculo del ancho efectivo, la constante dieléctrica efectiva, la longitud efectiva del patch, el error de longitud efectiva, y la longitud real del patch. Para el diseño de la antena realiza el cálculo de la impedancia de entrada y el diseño del tipo de alimentación. Una vez diseñado el patch y la antena, con la ayuda del software, se realizaron simulaciones las cuales permiten definir y optimizar los diferentes parámetros para el correcto funcionamiento de la antena.

Según el documento se efectuaron pruebas utilizando el Analizador Vectorial Anritsu S362E, que soporta frecuencias de hasta 6 GHz, del cual se obtuvieron parámetros como pérdida de retorno, VSWR (Voltaje Standing Wave Ratio), e impedancia. (Vaca & Venegas, 2011). Con estas pruebas se obtuvieron los resultados reales del funcionamiento de la antena tipo patch.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se realizó es la no experimental; es decir, “la que se realiza sin manipular deliberadamente las variables. Se trata de una investigación en donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que se hará es observar los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos”. (Hernandez, 2002)

El diseño de la investigación fue longitudinal, pues el interés fue analizar cambios a través del tiempo en determinadas variables o en relaciones entre éstas. Se recolectaron datos a través del tiempo en períodos específicos para hacer inferencias respecto al cambio, causas y consecuencias.

3.1 *Métodos de investigación*

- **Método deductivo:** comprensión de conceptos, principios, definiciones, leyes y normas generales en relación a la medición de parámetros en la recepción de señales de televisión digital satelital bajo el estándar DVB-S.
- **Método inductivo:** mediante el estudio de casos, hechos o fenómenos relativos a la medición de parámetros en la recepción de señales de televisión digital satelital bajo el estándar DVB-S conseguimos llegar a identificar el cumplimiento de dicha norma.
- **Análisis:** permitió descomponer en partes un hecho o una idea, para mostrarlas, describirlas, numerarlas, para explicar las causas de los hechos o fenómenos a estudiar relativos a la medición de parámetros en la recepción de señales de televisión digital satelital bajo el estándar DVB-S.
- **Síntesis:** se reconstruyó o unió, ciertos elementos circundantes al problema de investigación para facilitar la comprensión íntegra del mismo.

3.2 *Enfoque de la investigación*

- **Enfoque cuantitativo:** se usó en la recolección de datos para probar las hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. Dados que los datos son producto de mediciones de transmisión de señales, se representa mediante números y se deben analizar a través de datos estadísticos.

- **Enfoque cualitativo:** se usó en la recolección de los datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas en el proceso de interpretación de los datos. Aquí se desarrollaron preguntas antes, durante y después de la recolección y el análisis de los datos.

3.3 *Alcance de la investigación*

- **Correlacional:** se identificó la correspondencia o relación recíproca entre las variables medidas y los estándares internacionales que norman un sistema de transmisión de televisión digital satelital. El propósito fue evaluar la relación que existía entre lo medido y las normas establecidas.
- **Explicativo:** Se dio a conocer la causa o motivo de las mediciones realizadas en un sistema de transmisión de señales de televisión digital satelital y llegar a comprender las razones de los resultados.

3.4 *Población de estudio*

No se ha considerado una población de estudio ya que la investigación se basa en mediciones que se realizarán a señales de televisión digital emitidas por satélite y que cubren zonas geográficas amplias. Las mediciones se realizaron en la zona urbana de la ciudad de Riobamba.

3.5 *Unidad de análisis*

- Señales de televisión digital vía satélite.
- Zona urbana de la ciudad de Riobamba.

3.6 *Selección de la muestra*

No se va a realizar selección de la muestra.

3.7 *Tamaño de la muestra*

No se va a realizar el cálculo del tamaño de la muestra, ya que la investigación se hará sobre señales de televisión digital vía satélite.

3.8 *Técnica de recolección de datos primarios y secundarios*

3.8.1 *Fuentes primarias*

- Tesis relacionadas a la medición de parámetros en la recepción de las señales de televisión digital satelital.
- Libros de Telecomunicaciones.

- Artículos científicos relacionados a la televisión digital vía satélite.
- Artículos científicos sobre diseño de antenas microstrip.
- Libros de televisión digital vía satélite.
- Estándar DVB-S.

3.8.2 Fuentes secundarias

- Información del Ministerio de Telecomunicaciones de canales de Televisión Digital Satelital en el Ecuador.
- Estadísticas sobre la medición de los parámetros en la recepción de señales de televisión digital vía satélite.
- Información de las operadoras de Televisión Satelital.

3.9 Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios

Observación directa: Se realizó la medición de parámetros de calidad de señal con un Entrenador Universal de Televisión Digital, con el cual se obtuvieron valores para las diferentes variables que fueron analizadas.

3.10 Instrumentos para procesar datos recopilados

Para el procesamiento de los datos se utilizó software de ofimática y para el diseño de antenas microstrip se usó software especializado.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Mediciones

4.1.1 Satélite

El satélite que se utilizó fue el Amazon 2 que pertenece al Grupo Hispasat. Tiene una cobertura en todo el continente americano. La Tabla 1-4 muestra algunas de sus características técnicas.

Tabla 1-4: Características del satélite Amazonas 2.

Descripción	Parámetros
Posición orbital y coberturas	61° Oeste. Todo el continente americano (desde Alaska a Tierra de Fuego)
Transpondedores	64 transpondedores (54 en banda Ku, 10 en banda C)
Ancho de banda	36 MHz (Ku) y 54 MHz (C)
Nº de antenas	5 (4 desplegadas)

Fuente: (Hispasat, s.f.)

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

4.1.2 Conversor LNB

Se utiliza un LNB universal. Permite recibir señales de todos los satélites. Considerando las características técnicas se comprobó la compatibilidad entre los intervalos de las frecuencias de la banda Ku (10.7 GHz - 12.75 GHz) y la polarización: Horizontal Baja del LNB y el satélite.

4.1.3 Mediciones con la antena microstrip

Considerando la construcción de la antena microstrip, la implementación del sistema de recepción de televisión digital satelital y utilizando el satélite Amazonas 2 y el LNB universal, se procedió a realizar pruebas preliminares para observar el correcto funcionamiento de la antena. La Figura 1-4 muestra el diseño implementado.

Para la medición de los parámetros de la señal de televisión digital satelital se utilizó el equipo TV Explorer HD, Figura 2-4, el cual nos permitió, primeramente, apuntar la antena al satélite con mayor exactitud y así mismo obtener los diferentes parámetros de la calidad de la señal.



Figura 1-4. Sistema de recepción de televisión digital satelital.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.



Figura 2-4. Equipo TV EXPLORER HD.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

4.1.3.1 Potencia de la señal

Lo más importante que debemos considerar es la potencia de la señal recibida en la antena microstrip, la cual define la calidad de la señal. La antena microstrip presentó una potencia de -43.4 dBm (63.6 dB μ V), parámetro que está dentro de los umbrales permitidos, esto es, para televisión digital satelital está entre los 45 dB μ V y 70 dB μ V; es decir de -37 dBm a -62 dBm. Se debe considerar que la potencia va variando de acuerdo a las condiciones climáticas o ruidos externos que degradan la calidad de la señal. La Figura 3-4 muestra la captura de pantalla del equipo TV Explorer HD.

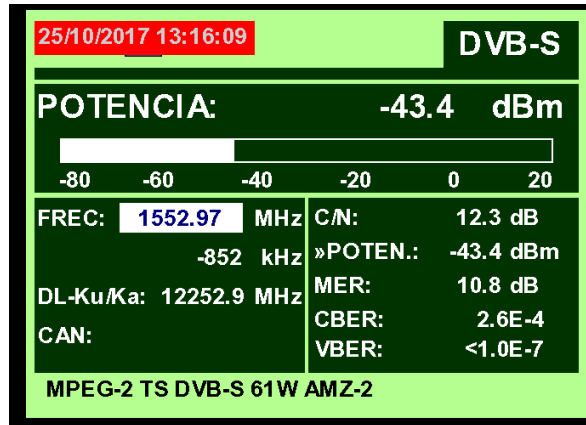


Figura 3-4. Potencia obtenida con la antena microstrip.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

4.1.3.2 El ancho de banda (BW)

Uno de los parámetros importantes es la selección del ancho de banda. La Figura 4-4 muestra el parámetro tomado desde el equipo TV Explorer HD. Este se puede calcular de la siguiente manera:

$$BW = SR * (a + \alpha) \quad (5)$$

$$BW = 28890e3 * (1 * 0.35) = 39.6Hz \approx 39MHz$$



Figura 4-4. Cálculo del Ancho de Banda (BW).

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Como se puede apreciar, en el estándar DVB-S define el factor de Roll-off del filtrado de Nyquist de 35 %; o $\alpha = 0.35$ que se ha utilizado en el cálculo del ancho de banda.

4.1.3.3 Relación señal a ruido

Consideremos que dentro del estándar DVB-S, el intervalo que relaciona la señal con respecto al ruido va desde 3.1 dB a 16.3 dB. La relación C/N mide la calidad de un sistema de telecomunicaciones; podemos decir que es la relación de la potencia de la señal con respecto a la potencia del ruido. Mientras más alta es esta relación, mejor será la calidad del sistema. El parámetro obtenido de C/N con la antena microstrip es de 12.3 dB, como se muestra en la Figura 3-4.

4.1.3.4 Tasa de errores de modulación (Modulation Error Ratio - MER)

Es un parámetro que se utiliza para medir el rendimiento del transmisor o del receptor. Este parámetro define la exactitud de la constelación de la señal digital, mide el error que tienen los vectores en la constelación considerando la ubicación teórica en la que deberían estar colocados. Para el cálculo del MER se utiliza la siguiente expresión:

$$MER(db) = \frac{P_{señal}}{P_{error}} \quad (6)$$

$$P_{error} = P_{señal} - C/N \quad (7)$$

Dentro de los parámetros considerados, el MER debe ser superior a 8 dB, en nuestro caso es de 10.8 dB, como se muestra en la Figura 3-4.

4.1.3.5 Bit Error Rate (BER)

El BER es considerado como la tasa de error en los datos binarios. Considerando esto se pueden definir dos medidas:

- a) CBER: es la medida del BER a la salida del demodulador, es la señal original, tal como se la recibe. Lo ideal es que el CBER este por el orden de los $1.0e-4$ (1 bit erróneo por cada 10.000 bits). El parámetro obtenido es $2.6e-4$, como se muestra en la Figura 3-4.
- b) VBER: Es la medida del VER. Es la señal corregida de errores una vez aplicado el algoritmo de Viterbi. El valor de esta medida fluctúa en el orden de los $2.0e-4$ (2 bits erróneos por cada 10.000 bits). El parámetro obtenido es $<1.0e-7$, como se muestra en la Figura 3-4.

4.1.3.6 Constelación

Gráficamente podemos verificar los símbolos digitales recibos analizando la constelación QPSK de la señal digital. La Figura 5-4 muestra la concentración de energía.

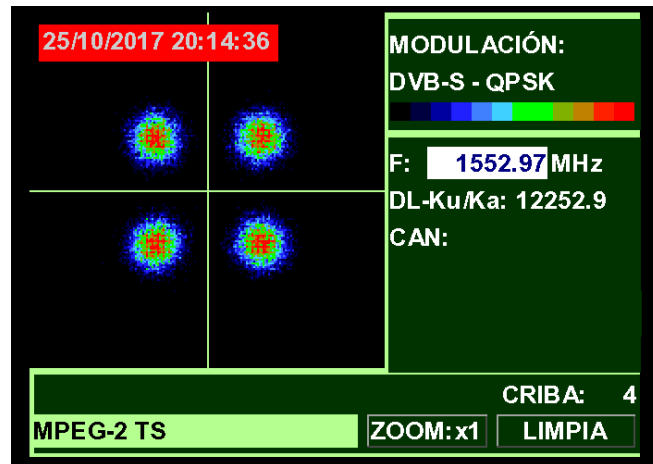


Figura 5-4. Constelación QPSK.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

4.1.3.7 Parámetros DVB-S

Considerando todos los parámetros obtenidos, debemos verificar que la señal cumpla con los indicadores definidos en el estándar DVB-S. En la Figura 6-4 se muestran, por ejemplo, cómo la señal cumple con la codificación de la fuente, como es MPEG-2, cuya velocidad de transmisión es hasta 45 Mbps.



Figura 6-4. Parámetros de la señal con los indicadores del estándar DVB-S.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Considerando todo este procedimiento, para obtener los parámetros de calidad de la señal de televisión digital satelital en la antena microstrip, se han realizado una serie de mediciones en diferentes tiempos y por ende en condiciones climáticas diferentes, las cuales han permitido definir algunas medidas estadísticas, como se verá más adelante, sobre el comportamiento de la antena microstrip y la calidad de la señal recibida, mediciones que se muestran en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4: Mediciones realizadas con la antena microstrip.

Mediciones antena microstrip						
No.	Potencia señal (dBm)	Potencia señal (dB μ V)	Relación señal a ruido C/N (dB)	Tasa errores modulación (Modulation Error Ratio - MER) (dB)	CBER	VBER
1	-43,4	63,6	12,3	10,8	2,6E-04	<1,0E-7
2	-42,4	64,6	12,7	11,1	2,9E-04	<0,9E-7
3	-44,0	63,0	11,5	10,2	2,0E-03	<1,2E-6
4	-45,4	61,6	10,6	9,8	1,9E-03	<1,3E-5
5	-41,3	65,7	13,2	12,1	3,2E-04	<0,8E-7
6	-48,0	59,0	9,4	6,8	1,3E-02	<1,4E-5
7	-43,7	63,3	12,1	10,9	2,5E-04	<1,1E-7
8	-43,9	63,1	12,0	10,9	2,5E-04	<1,1E-7
9	-42,9	64,1	12,8	11,3	3,1E-04	<1,0E-7
10	-44,1	62,9	11,5	10,5	2,0E-03	<1,6E-6

Umbral Televisión Digital Satelital

Potencia de la señal: [-37 ; -62] dBm - [45 ; 70] dB μ V

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

4.1.4 Antena parabólica off-set

Como un plus al presente trabajo, se decidió hacer una comparación con una antena que se encuentra fácilmente en el mercado, como es la antena off-set, que es de uso común por las operadoras de televisión digital satelital, con la cual obtuvimos los diferentes parámetros de recepción de la señal de televisión digital satelital, utilizando el equipo TV Explorer HD.

La antena off-set es una antena de 80 cm de diámetro, de acero galvanizado, con una ganancia de 39dB. La Tabla 3-4 muestra las características de dicha antena.

Tabla 3-4: Especificaciones técnicas antena off-set.

Especificaciones técnicas	Características
Ancho de banda	10.7 - 12.75 GHz
Tamaño	80 cm
Ganancia	39 dB
Ángulo off-set	26,5 ⁰
Ángulo de elevación	10 ⁰ - 60 ⁰
Espesor	0.6 mm

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

4.1.4.1 Mediciones con la antena off-set

Los elementos que se utilizaron para la obtención de los parámetros de la señal de televisión digital satelital utilizando la antena off-set, son los mismos que se utilizaron con la antena microstrip; es decir, el satélite Amazonas 2 y el LNB universal. La Figura 7-4 muestra dicha antena.



Figura 7-4. Antena off-set.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

4.1.4.2 Parámetros de recepción

Considerando los distintos parámetros que se obtuvieron con la antena microstrip, se procedió a realizar las mismas mediciones utilizando la antena off-set, las cuales se muestran en la Figura 8-4:

- a) Potencia: -42.7 dBm
- b) Modulation Error Ratio – MER: 10.6 dB
- c) VBER: <1.0e-8
- d) Relación señal a ruido C/N: 12.6 dB
- e) CBER: 2.9e-4

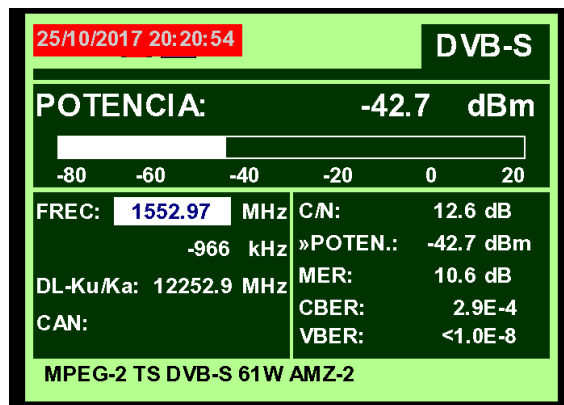


Figura 8-4. Parámetros obtenidos con la antena off-set.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018

4.1.4.3 Constelación

Así mismo, podemos verificar gráficamente los símbolos digitales recibos analizando la constelación QPSK de la señal digital. La Figura 9-4 muestra la concentración de energía.

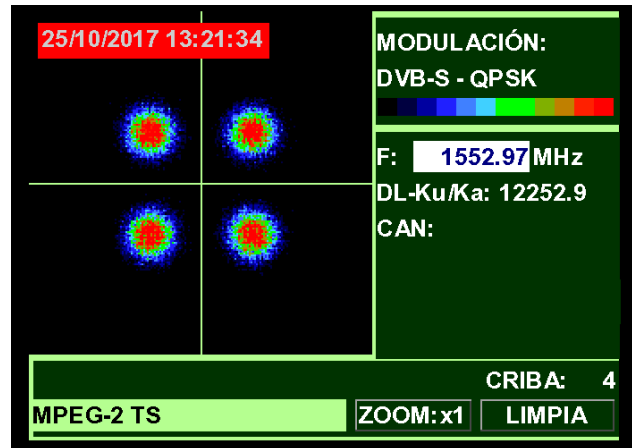


Figura 9-4. Constelación QPSK utilizando la antena off-set.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

4.1.4.4 Indicadores DVB-S

Así mismo, como se observa en la Figura 10-4, la codificación en la fuente e MPEG-2, tal como está definido en el estándar DVB-S.



Figura 10-4. Señal con parámetros del estándar DVB-S.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Consideremos así mismo, tal como se hizo con la antena microstrip, la toma de una serie de mediciones con la antena off-set, las cuales han permitido definir algunas medidas estadísticas, como se verá más adelante, para ver el comportamiento de la antena off-set. Las mediciones se muestran en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4: Mediciones realizadas con la antena off-set.

Mediciones antena off-set						
No.	Potencia señal (dBm)	Potencia señal (dB μ V)	Relación señal a ruido C/N (dB)	Tasa errores modulación (Modulation Error Ratio - MER) (dB)	CBER	VBER
1	-42,7	64,3	12,6	10,6	2,0E-04	<1,0E-8
2	-41,5	65,5	12,8	10,9	1,9E-04	<1,7E-8
3	-42,5	64,5	12,9	11,0	1,6E-05	<1,2E-8
4	-40,0	67,0	13,7	11,6	1,9E-05	<2,0E-9
5	-43,7	63,3	12,3	9,7	1,9E-03	<3,0E-7
6	-48,6	58,4	9,3	7,2	1,0E-02	<4,0E-6
7	-42,4	64,6	12,7	10,2	2,2E-04	<1,3E-8
8	-43,0	64,0	12,4	9,9	1,8E-03	<2,0E-7
9	-42,8	64,2	12,6	10,8	2,8E-04	<1,9E-8
10	-42,3	64,7	12,7	10,5	2,9E-04	<1,8E-8

Umbral Televisión Digital Satelital

Rangos potencia de la señal: [-37 ; -62] dBm - [45 ; 70] dB μ V

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

4.1.5 Análisis estadístico

Considerando las mediciones realizadas tanto con la antena microstrip como con la antena off-set se ha realizado el cálculo de algunas medidas estadísticas que nos permitirán determinar un poco más claro cuál es el comportamiento de las antenas respecto a la recepción de señales de televisión digital satelital. Es así que, considerando las medidas de centralización, estas nos permiten determinar los valores centrales o medios de los datos obtenidos con la potencia de la señal, como se muestra en las tablas 5-4 y 6-4, la media aritmética de la potencia es igual a -43,9 dBm o 63,1 dB μ V que están dentro de los rangos mencionados anteriormente, teniendo las antenas un comportamiento normal de recepción de la señal.

Así mismo, considerando las medidas de localización en las que se dividen los datos en partes iguales para clasificarlos dentro de un determinado rango de datos, las tablas 5-4 y 6-4 muestran los valores del percentil 25 y percentil 75: -44,1 dBm y -43,0 dBm o 62,9 dB μ V y 64,0 dB μ V. Con estos antecedentes las antenas tienen un comportamiento normal de recepción de la señal ya que estos datos están dentro de los rangos mencionados anteriormente.

Tabla 5-4: Medidas estadísticas considerando la potencia de la señal recibida en dBm.

Potencia de la señal (dBm)							
Datos estadísticos							
Antena (mediciones)	Potencia señal mínima (dBm)	Potencia señal máxima (dBm)	Percentil 25 (dBm)	Media aritmética (dBm)	Percentil 75 (dBm)	Mediana (dBm)	Moda (dBm)
Antena microstrip	-48,0	-41,3	-44,1	-43,9	-43,0	-43,8	#N/A
Antena off-set	-48,6	-40,0	-43,0	-43,0	-42,3	-42,6	#N/A

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Tabla 6-4: Medidas estadísticas considerando la potencia de la señal recibida en dBμV.

Potencia de la señal (dBμV)							
Datos estadísticos							
Antena (mediciones)	Potencia señal mínima (dBμV)	Potencia señal máxima (dBμV)	Percentil 25 (dBμV)	Media aritmética (dBμV)	Percentil 75 (dBμV)	Mediana (dBμV)	Moda (dBμV)
Antena microstrip	59,0	65,7	62,9	63,1	64,0	63,2	#N/A
Antena off-set	58,4	67,0	64,0	64,0	64,7	64,4	#N/A

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

4.2 Resultados y discusión

Considerando lo expuesto anteriormente y tomando como referencia la antena parabólica off-set, se realiza una comparación entre la antena microstrip y dicha antena. En la Tabla 7-4 se efectúa un balance de los resultados obtenidos en la medición de los parámetros de recepción de la señal de televisión digital satelital de las antenas para tener una mejor perspectiva de cómo está funcionando la antena implementada frente a las antenas que se encuentran en el mercado.

Tabla 7-4: Comparación de resultados entre la antena microstrip y la antena off-set.

Parámetros	Antena microstrip	Antena off-set
Potencia	-43.4 dBm	-42.7 dBm
C/N	12.3 dB	12.5 dB
MER	10.8 dB	10.6
CBER	2.6e-4	2.9e-4
VBER	<1.0e-7	<1.0e-8
Codificación en la fuente	MPEG-2	MPEG-2
Estándar	DVB-S	DVB-S
Satélite	Amazonas 2	Amazonas 2
Posición orbital	61° Oeste	61° Oeste

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Como se había mencionado anteriormente, la potencia de la señal recibida en la antena microstrip define la calidad de la señal, la cual, como se observa en la Tabla 7-4, es de -43.4 dBm frente a los -42.5 dBm de la antena off-set. Comparando estos dos datos vemos claramente que los -43.4 dBm está más cerca del promedio (-49.5 dBm) del rango, considerando los umbrales permitidos, esto es, para televisión digital satelital que está entre los 45 dB μ V y 70 dB μ V; es decir, de -37 dBm a -62 dBm.

En consecuencia, podemos afirmar que se ha obtenido una muy buena recepción de la señal con la implementación de la antena microstrip, lo que nos ha permitido mejorar la calidad del servicio fundamentado en el estándar DVB-S. Debemos precisar también, como ya se mencionó anteriormente, que las mediciones realizadas fueron hechas en condiciones climáticas y ruidos externos lo que degradan la calidad de la señal y por consiguiente se obtuvieron parámetros con diferentes valores.

CAPÍTULO V

5. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP PARA LA RECEPCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL SATELITAL

Como ya se ha mencionado antes, una antena es una estructura de transición entre el espacio libre y un dispositivo guía, el dispositivo o la línea de transmisión puede tomar la forma de una línea coaxial o una tubería hueca (guía de ondas), y se utiliza para transportar energía electromagnética de la fuente de transmisión a la antena o desde la antena al receptor.

Este tipo de antenas pueden diseñarse para transmisión y recepción de señales, y particularmente se busca diseñar e implementar un arreglo reflectario, que sea capaz de recibir la señal a una frecuencia 12 GHz, donde la señal incidente se refleja en varios parches de tamaño variable al LNB (*Low Noise Block.*)

5.1 Diseño del parche

Para el diseño de la antena microstrip se utilizó el software Ansoft Designer cuyas herramientas permitieron configurar las características de la antena y en base a estas, se pudo hacer simulaciones para verificar el comportamiento de la misma y como fue el caso, tomar las medidas correctivas para obtener los parámetros deseados.

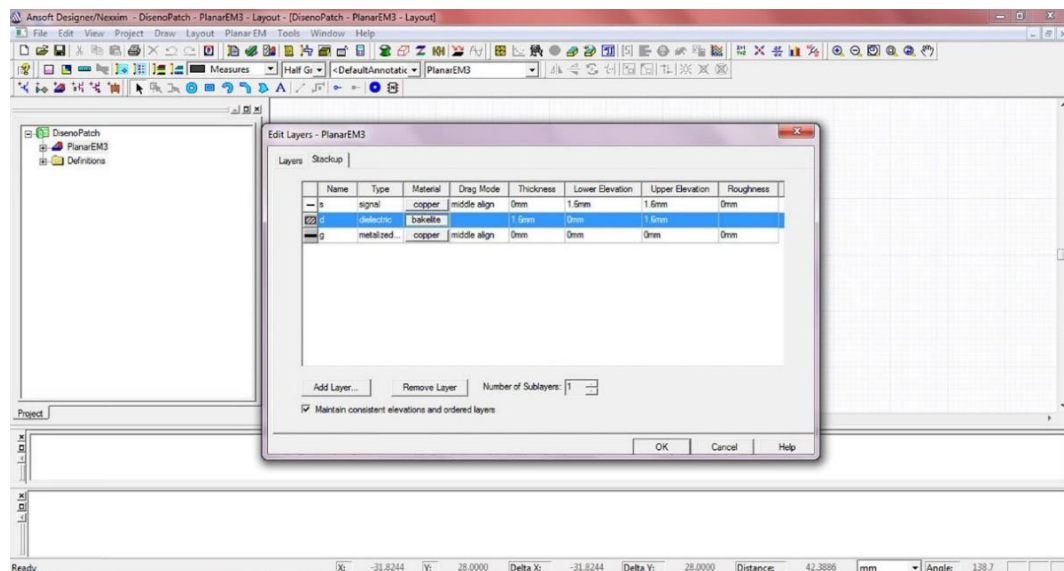


Figura 1-5. Definición de las capas con una configuración conductor-dieléctrico-conductor.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Primero lo que se hizo es especificar las capas con las cuales se van a trabajar, como se muestra en la Figura 1-5, en donde se definieron tres tipos de materiales: el dieléctrico, la señal donde estarán los conductores y la tierra. En este primer paso se definió una configuración conductor-dieléctrico-conductor. El dieléctrico que se utilizó es la baquelita que tiene una permitividad relativa de 4.8 y un espesor de 1.6 mm.

Configuradas las capas, debemos mencionar que la capa en dónde se trabajó es la capa alta. Seguidamente definimos la figura para comenzar a diseñar el parche, como se muestra en la Figura 2-5. Para realizar un diseño óptimo se definió la posición del parche en el origen y un tamaño aceptable, considerando que la frecuencia de trabajo será de 12 GHz.

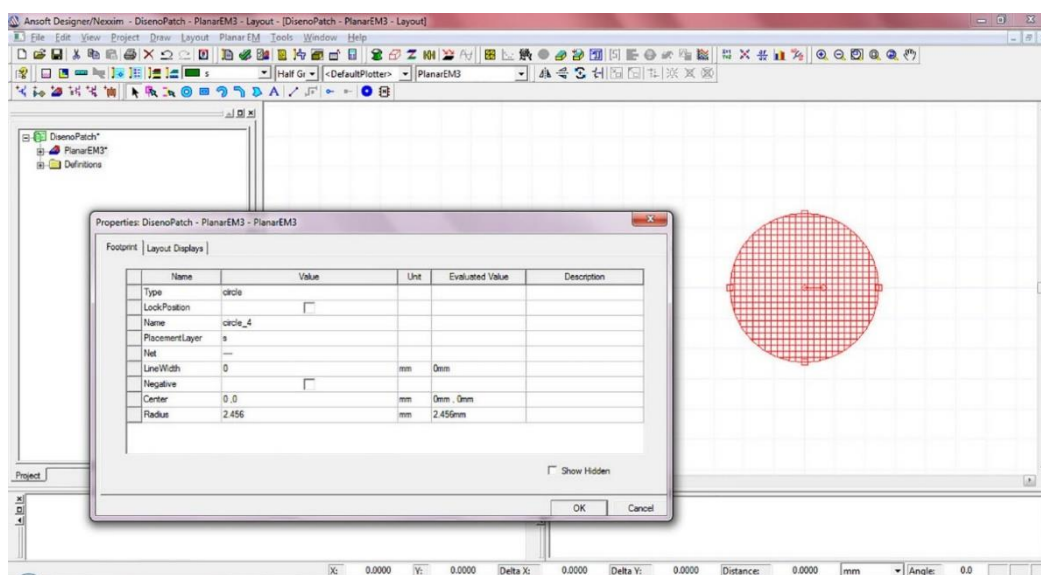


Figura 2-5. Configuración del parche: posición y tamaño.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Una vez configuradas la posición y el tamaño del parche se define una fuente de alimentación para poder realizar las simulaciones respectivas. Seguidamente se configuró la frecuencia central de operación con la que se trabajó, que es de 12 GHz, como se muestra en la Figura 3-5.

Para realizar las simulaciones se procedió a definir una frecuencia menor y una frecuencia mayor alrededor de la frecuencia central de operación. Las simulaciones se realizaron con el objetivo de determinar el coeficiente de reflexión del parche que no es más que la relación entre la amplitud de la onda reflejada y la onda incidente o es la cantidad de energía que se refleja.

La herramienta Sweep del software, como se muestra en la Figura 4-5. permitió configurar una primera simulación con una frecuencia inicial de 9 GHz, una frecuencia final de 15 GHz y un

incremento de 0.5 GHz con la finalidad de obtener un primer vistazo del comportamiento de la antena respecto a la frecuencia central de operación.

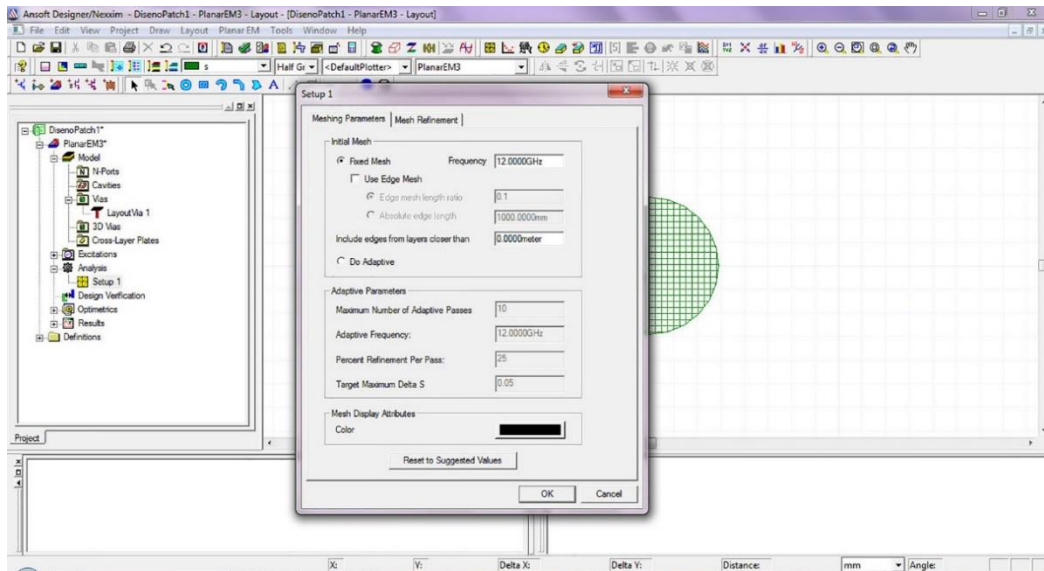


Figura 3-5. Configuración de la frecuencia central de operación: 12 GHz.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

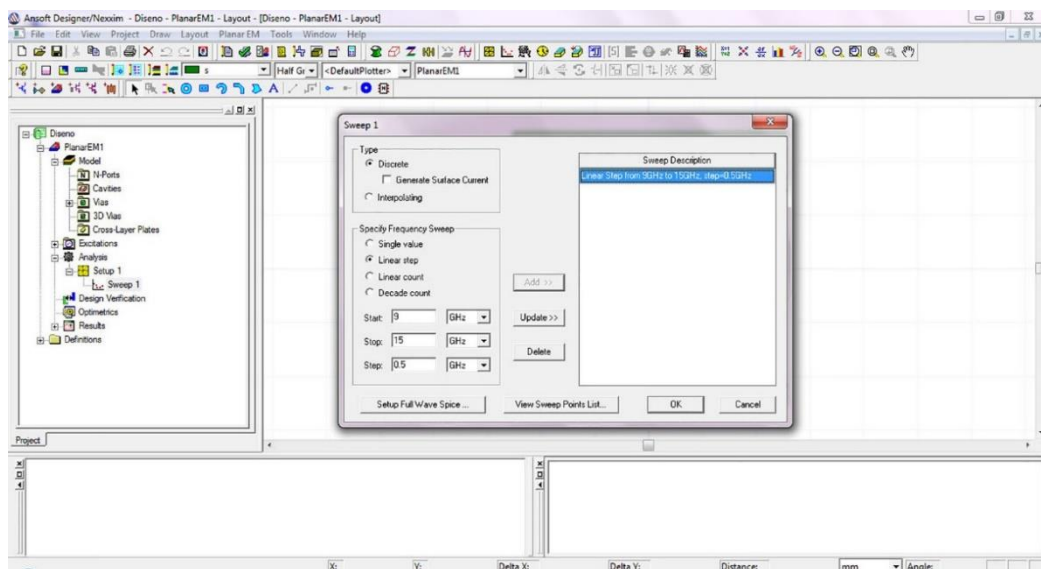


Figura 4-5. Configuración de frecuencias para la simulación.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Una vez que se configuraron las frecuencias para la simulación se procedió también a configurar el reporte de resultados que se desea tener para observar el comportamiento del parche respecto al coeficiente de reflexión. Consideremos que este fue el primer reporte de resultados.

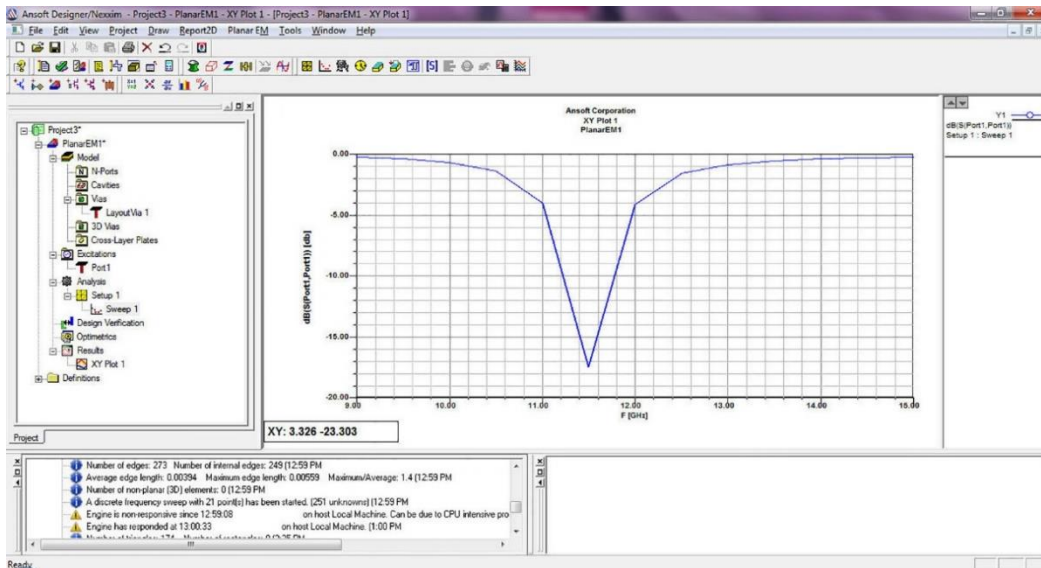


Figura 5-5. Gráfico del coeficiente de reflexión.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Como se puede observar en la Figura 5-5, el coeficiente de reflexión no es óptimo porque no está en los 12 GHz, está sobre los 11.5 GHz aproximadamente. Lo que se realizó para tener un resultado óptimo fue cambiar las dimensiones del parche; es decir, disminuir su tamaño, ya que mientras más pequeño el parche, la frecuencia será mayor. Consideremos que el diámetro de parche al inicio fue de 5.2 mm.

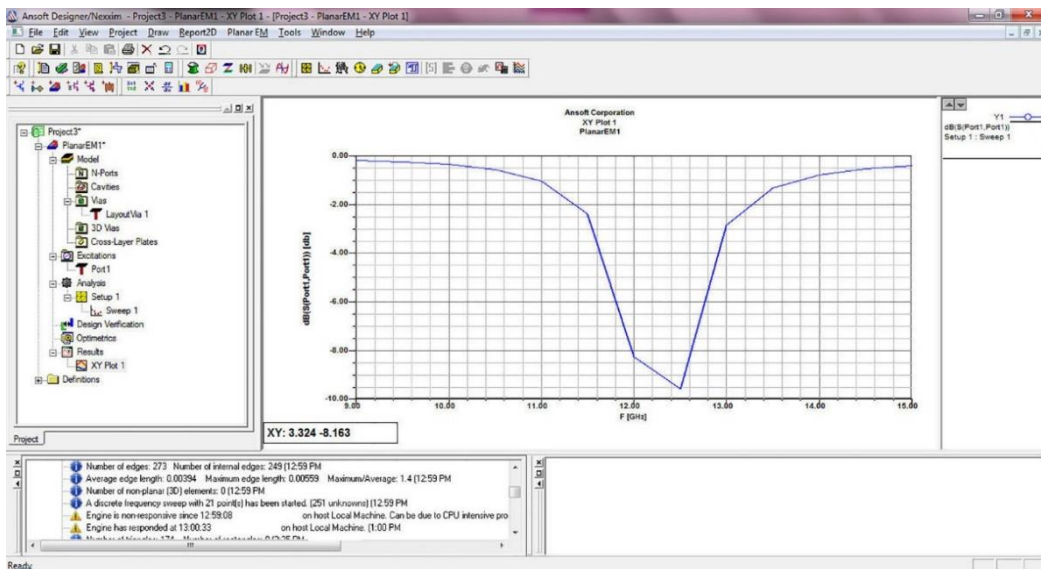


Figura 6-5. Gráfico del coeficiente de reflexión después de variar el tamaño del parche.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Al realizar un cambio en la dimensión del parche de un diámetro de 5.2 mm a 4.8 mm recordemos que la variación del tamaño debe ser mínima ya que se quiere desplazar de 11.5 GHz a 12 GHz.

La Figura 6-5 muestra el coeficiente de reflexión sobre los 12.5 GHz aproximadamente; es decir, la variación del tamaño del parche no fue el óptimo. Con estas consideraciones se tiene ya una idea de cuál más o menos sería el tamaño del parche circular. Nuevamente se realiza una variación del diámetro a 5.0 mm, y una vez realizada la simulación, como se observa en la Figura 7-5, se obtiene el coeficiente de reflexión sobre los 12 GHz que es lo que se quería obtener.

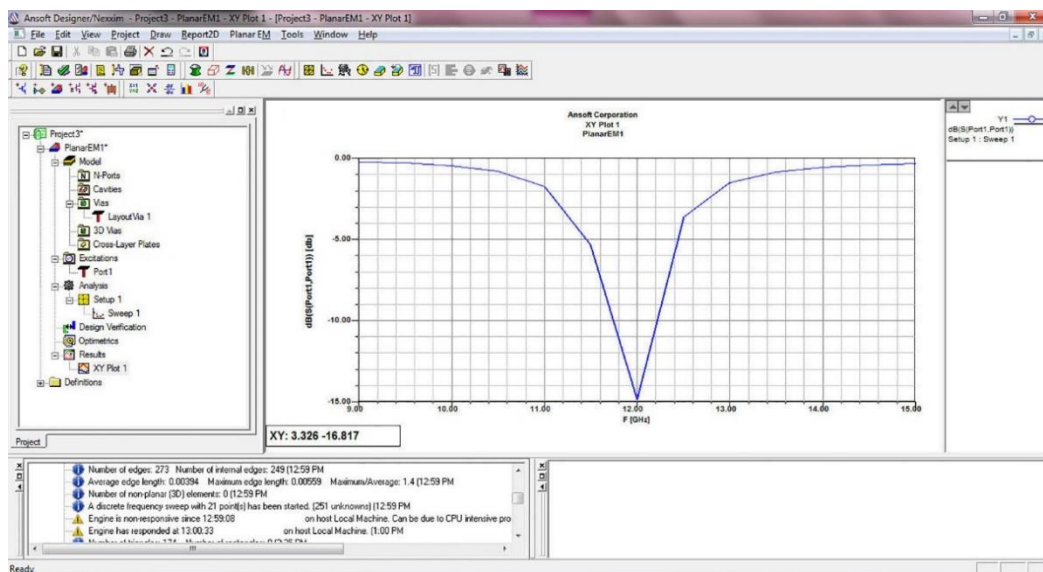


Figura 7-5. Gráfico del coeficiente de reflexión sobre los 12 GHz.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Como se puede apreciar, todo el proceso se ha realizado en forma manual y si se tuviera parches con configuraciones más complejas este proceso se volvería muy complicado. Dentro de las simulaciones se configuraron varias opciones las cuales ayudaron a mejorar los cálculos, esto se hizo con las optimizaciones paramétricas; es decir, se realizaron los cálculos en forma automática y ya no en forma manual, tal como se describió anteriormente.

Para obtener un mejor coeficiente de reflexión primeramente se definieron variables, las cuales ayudaron a los cálculos, especialmente en la definición del tamaño óptimo del parche circular, para lo cual, con la ayuda del software y tal como se muestra en la Figura 8-5 se hizo una sola simulación con varias dimensiones del radio del parche que fueron desde 2.2 mm hasta 2.6 mm con un incremento de 0.05 mm; es decir se obtuvieron las gráficas de 9 coeficientes de reflexión, las cuales permitieron definir el diámetro óptimo del parche circular.

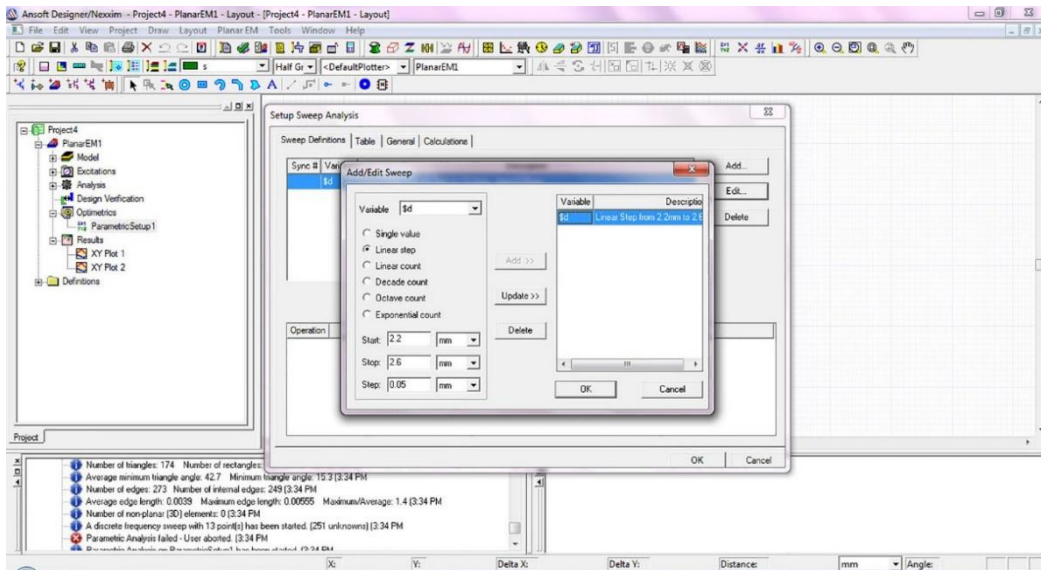


Figura 8-5. Configuración de las optimizaciones paramétricas.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Así mismo, tal como se creó un reporte de resultados en la forma manual, en este paso también se definió un reporte de resultados con los parámetros que se quieren observar. La Figura 9-5 muestran los resultados obtenidos, en donde la mayoría de los coeficientes de reflexión están con una frecuencia central de 12 GHz y también en la parte derecha se pueden observar las diferentes dimensiones del parche circular bajo las cuales se hicieron los cálculos y con los que se puede discernir cuál de estas dimensiones es la óptima para el parche circular.

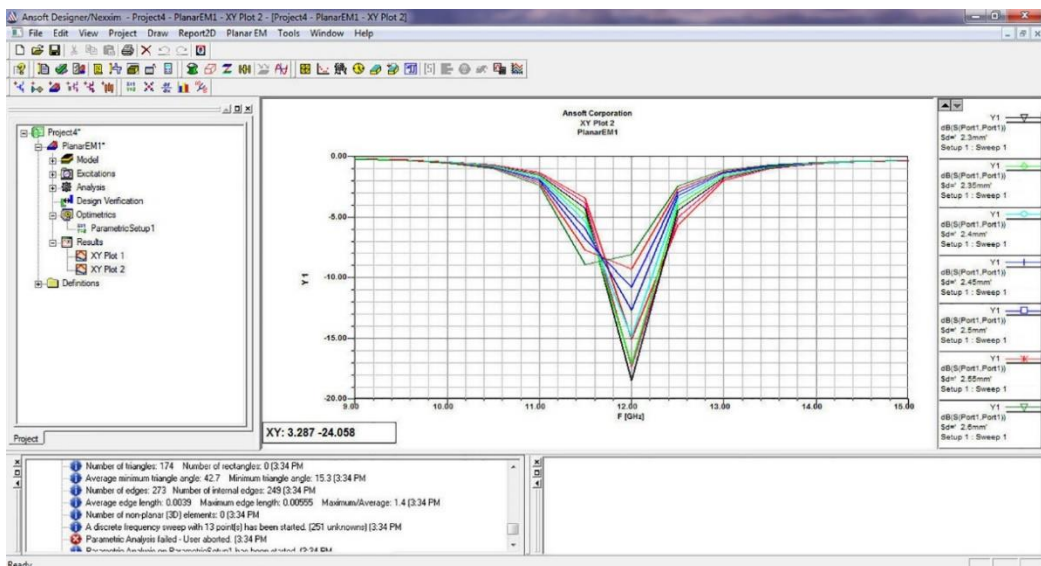


Figura 9-5. Reporte de resultados con 9 diferentes dimensiones del parche circular.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Con todos estos antecedentes y haciendo un acercamiento a la parte baja del reporte de resultados, podemos apreciar claramente en la Figura 10-5, la gráfica de uno de los coeficientes de reflexión que está más abajo, lo cual nos indica que para éste se ha definido el tamaño, y que va a ser el óptimo, del parche circular como se muestra en la parte derecha. Es así que el radio del parche circular óptimo es de 2.45 mm; es decir de un diámetro de 4.9 mm.

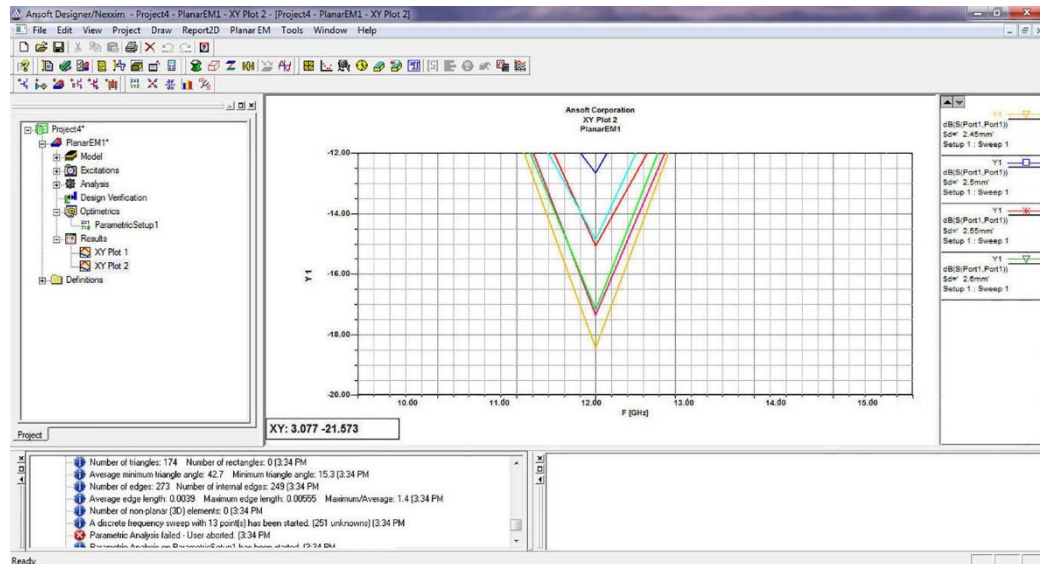


Figura 10-5. Definición del tamaño óptimo del parche circular.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Cuando se va a realizar una optimización paramétrica debemos estar seguros de los resultados que se quieren obtener, es por eso que, la primera parte que se realiza manualmente es importante, porque define de cierta forma las características bajo las cuales el parche será diseñado.

Considerando lo expuesto en el diseño del parche circular y teniendo en cuenta que la antena que se diseñó es un arreglo de parches circulares, debemos mencionar que cada uno de los parches tiene el mismo tratamiento para su diseño. Cada uno de los parches, en un arreglo refractario, debe ser modificado en su tamaño, mínimamente, con la intención de que estos reflejen la señal hacia un punto común como se verá más adelante.

5.2 Distribución de cambio de fase

Considerando la propuesta de antena que se diseñó, que es una antena como un arreglo reflectario, las ondas reflejadas se obtienen de la misma manera que una antena parabólica utilizando parches de diferentes longitudes, pero para reflejar estas ondas primero se debe determinar la fase, por lo tanto, cada parche de la antena contribuirá que cada parche refleje la señal en una dirección dada.

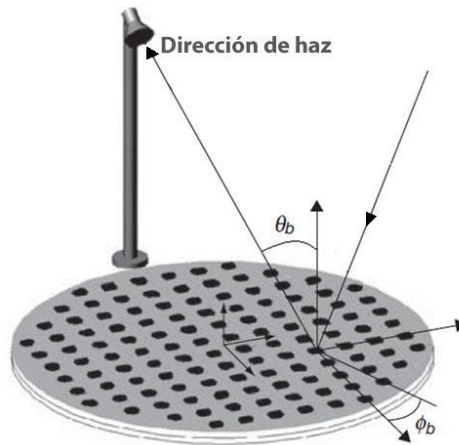


Figura 11-5. Cambio de fase de una antena microstrip plana con arreglo reflectario.

Fuente: (Huang & Encimar, 2008).

Considerando el sistema de coordenadas detallado en la Figura 11-5, la distribución de fase progresiva en la superficie del arreglo reflectario produce un haz en la dirección (ϕ_b, θ_b) , en otras palabras, el desplazamiento de fase requerido en cada elemento se expresa como: (Huang & Encimar, 2008)

$$\phi_R = K_0 (d_i - (x_m \cos \phi_b + y_n \sin \theta_b) \sin \theta_b) \quad (1)$$

Donde K_0 es la constante de propagación, x_m e y_n son las coordenadas del i -ésimo elemento. d_i es la distancia desde el LNB al i -ésimo elemento de la antena de arreglo reflectario. θ_b y ϕ_b es la dirección deseada del haz. El desplazamiento de fase se logra variando uno de los parámetros geométricos en los elementos del arreglo reflectario.

5.3 Cambio de fase basado en parches únicos de tamaño variable

El funcionamiento de las antenas con arreglos reflectarios son elementos impresos de tamaño variable. Se debe considerar que la fase de la onda reflejada varía con la longitud de resonancia de los elementos. Un parche de una antena microstrip es una antena resonante, por lo que su longitud debe ser de aproximadamente la mitad de una longitud de onda en el dieléctrico. (Mailloux, 2001).

Si la longitud del parche se modifica en una matriz de parches, como se muestra en la Figura 12-5, la fase del campo reflejado cambiará, para un parche resonante, un pequeño cambio en su tamaño produce un amplio rango en la variación de fase de la onda reflejada.

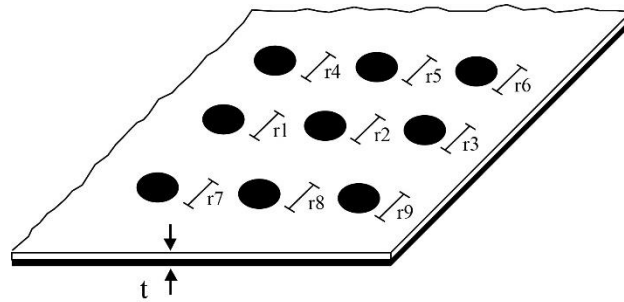


Figura 12-5. Parches circulares de diferentes tamaños para controlar el cambio de fase.

Fuente: (Mailloux, 2001).

Para el análisis y diseño de un arreglo reflectario, se consideró que es más eficiente obtener el desplazamiento de fase a través de simulaciones electromagnéticas. También se propuso una técnica de onda completa basada en MoM (Método de los Momentos) para obtener las curvas de fase en función de las dimensiones del parche, al considerar la incidencia de una onda plana en una matriz infinita de parches.

El rango total de variación de fase se puede lograr variando la longitud de los parches, y depende de la separación entre los parches y el plano de tierra; es decir, el grosor del sustrato, pero este rango disminuye para los sustratos más gruesos. Entonces, las antenas con arreglos reflectarios basadas en esta técnica de ajuste usan sustratos dieléctricos delgados.

La variación de fase frente a la longitud es fuertemente no lineal debido al comportamiento de banda estrecha de los parches de las antenas microstrip, pues muestra variaciones muy rápidas cerca de la resonancia y muy lenta en los valores extremos. La rápida variación de fase hace que la distribución de fase sea muy sensible a los errores de tolerancia de fabricación. Debido al comportamiento no lineal, la fase es muy sensible a las variaciones de frecuencia, lo que reduce significativamente la banda de trabajo del arreglo reflectario.

5.4 *Análisis del coeficiente de reflexión*

Cuando se diseñan antenas, el coeficiente de reflexión desempeña un papel importante, dependiendo del tipo de dichas antenas, este debe presentar un valor mínimo o máximo a cierta frecuencia o banda de frecuencias; en el caso de una antena con arreglo reflectario, este coeficiente debe presentar una reflexión máxima en la frecuencia de operación, que en nuestro caso es de 12 Ghz.

Como se ve en la Figura 13-5, a una frecuencia de 12 GHz, cuando se simula un arreglo reflectario infinito en un software de diseño, se tiene una reflexión máxima, que indica un rendimiento correcto de la antenna, la gran mayoría de incidentes se reflejan en un solo punto, como ya se explicó anteriormente con respecto a las variaciones de fase.

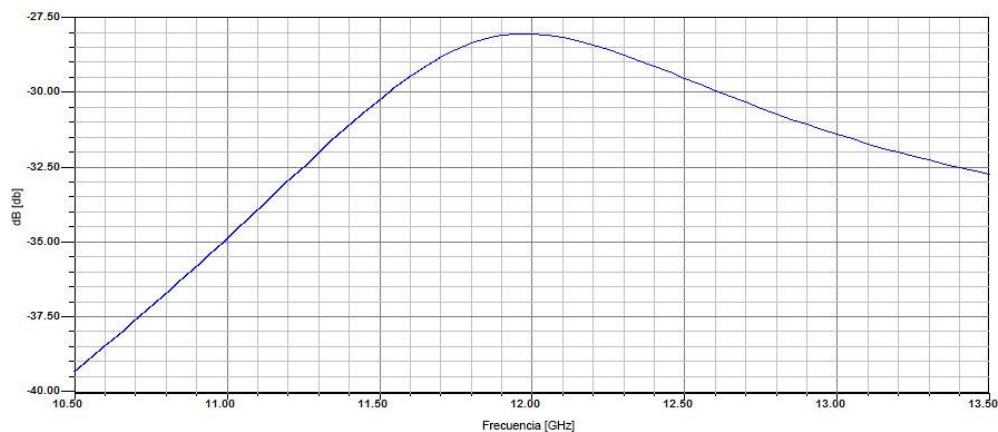


Figura 13-5. Coeficiente de reflexión de la antenna con arreglo reflectario infinito para 12 GHz.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

5.5 *Diseño de la antenna*

Para el diseño de una antenna con arreglo reflectario, se debe estar seguro de que las ondas reflejadas tomarán diferentes fases para una máxima reflexión en el mismo punto, esto se logra variando el tamaño de cada parche, estos cambios de fase se calcularon utilizando (1). El proceso completo de diseño se muestra en el Anexo A.

Una vez que se hayan obtenido estos cambios de fase, es necesario calcular el tamaño de cada uno de los parches para lograr los destellos calculados, por lo que, para continuar el diseño, fue necesario considerar una aproximación en la cual, para elementos con parches de tamaño variable, el arreglo reflectario se analizó asumiendo la periodicidad local; es decir, cada elemento se considerará en un entorno de matriz con todos los elementos idénticos. En la mayoría de diseños de este tipo de antenas, se utiliza software para su análisis, en nuestro caso se utilizó Ansoft Designer. Este software tiene la posibilidad de implementar estas condiciones de periodicidad, basadas en una matriz infinita cuyo tamaño es igual a $0:65\lambda$.

El software se usó para obtener las curvas de fase para los elementos del arreglo reflectario. Las curvas de fase obtenidas en la simulación se usaron para determinar las dimensiones del método de disposición aproximada de los elementos, ignorando el efecto del ángulo de incidencia. Como se ve en la Figura 14-5, al usar el software Ansoft Designer, se obtuvo la curva en la que ambas, la variación de fase y la variación en la longitud se relacionaron.

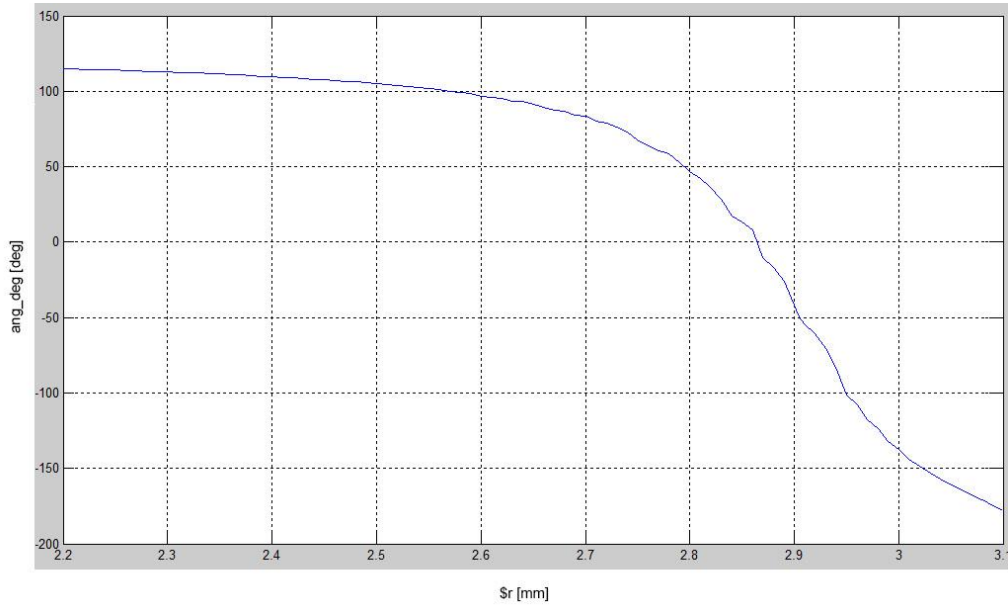


Figura 14-5. Respuestas de fase a 12 GHz para parches de tamaño variable.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Considerando la simulación, se puede determinar qué tamaño debe presentar cada uno de los diferentes parches que componen el arreglo reflectario y la posición de cada parche, esto se puede determinar mediante una comparación de las variaciones de fase del gráfico y las calculadas, como se muestra en la Figura 15-5, para que las ondas incidentes se reflejen en un punto común en la misma dirección. Los valores se muestran en el Anexo B.

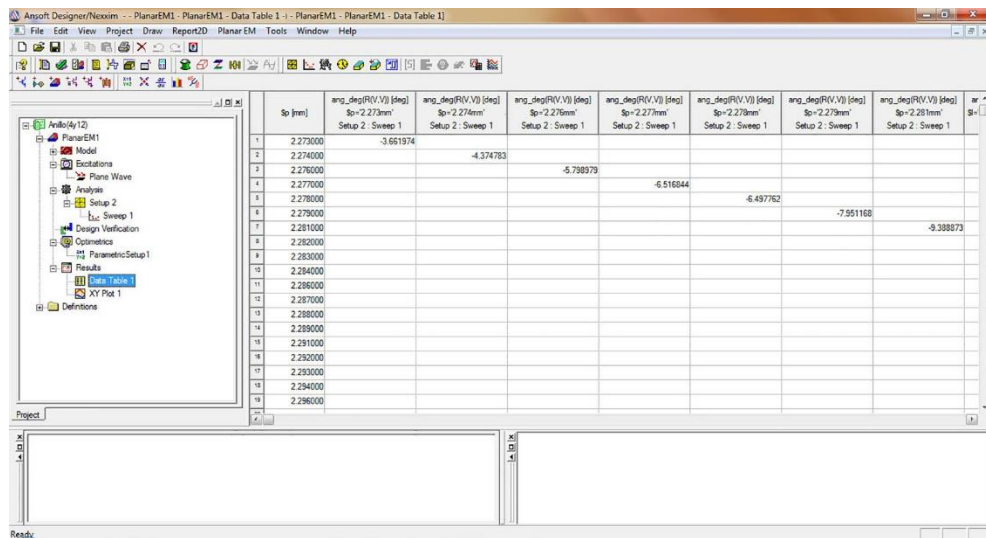


Figura 15-5. Mediante simulación se calcula del tamaño del parche circular y su posición.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Una vez que se determinó qué características de cada parche fueron necesarias para calcular la separación entre cada una de ellas, todos los elementos en el arreglo reflectario deben tener un

espacio adecuado entre los elementos adyacentes para evitar el tipo de radiación del lóbulo de rejilla. Para el incidente de costado y las ondas radiadas, el espacio entre los elementos podría ser relativamente grande.

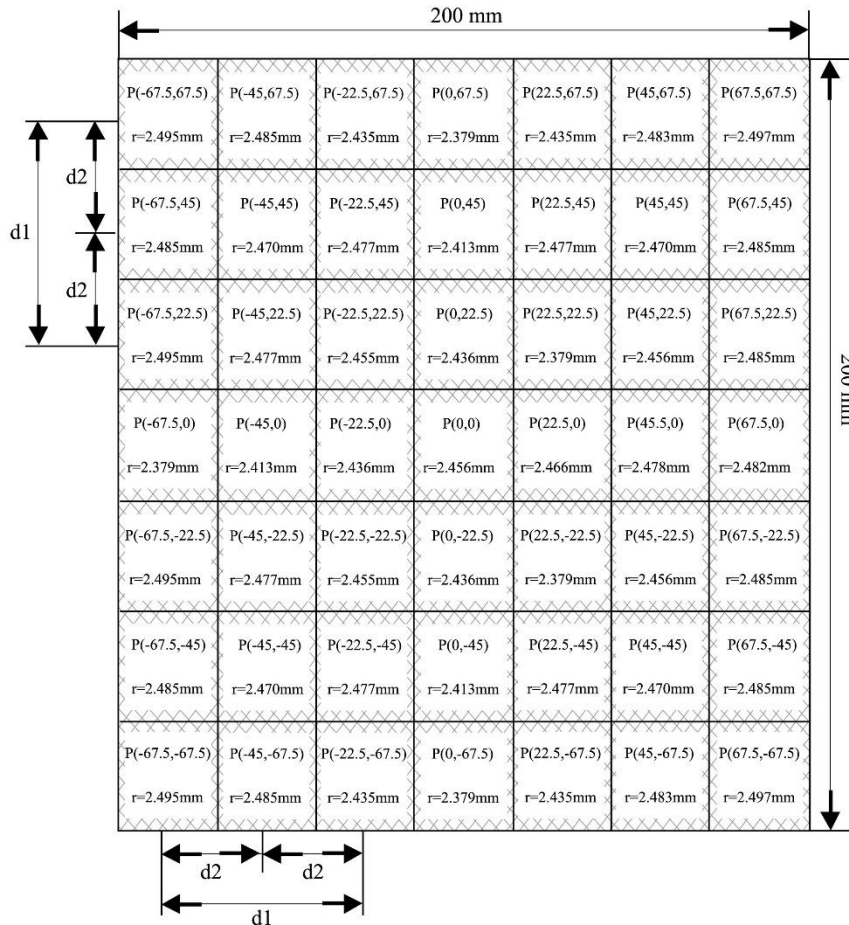


Figura 16-5. Posición, longitud y separación entre cada parche.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

La separación entre cada parche en la distancia $d1$ es $0: 6\lambda$ y la separación entre cada parche en la distancia $d2$ es $0: 9\lambda$, en este caso, $d1$ y $d2$ se consideran en el vacío. La Figura 16-5 muestra el detalle. También se puede observar que la distancia que se encuentra cada parche se indica con P, además r indica el radio correspondiente de cada parche para una frecuencia de 12 GHz.

Con todas estas consideraciones es necesario tener en cuenta que el LNB debe estar conectado a una distancia R desde el centro del arreglo reflectario, y esta distancia debe calcularse con las condiciones de campo lejano indicadas de acuerdo a la siguiente expresión:

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2)$$

Entonces se puede construir fácilmente una antena con arreglo o matriz de parches reflectarios, teniendo en cuenta todas las consideraciones que se han discutido anteriormente.

5.6 Modelado

Para elaborar el arreglo reflectario se debe considerar la curva que relaciona el tamaño con el ángulo necesario para formar una matriz de 7x7 parches, como se muestra en la Figura 17-5, este conjunto se construirá para garantizar que la onda incidente se desvíe a un punto situado a una distancia $r = 35 \text{ cm}$ del centro de la placa del reflector a lo largo del eje z.

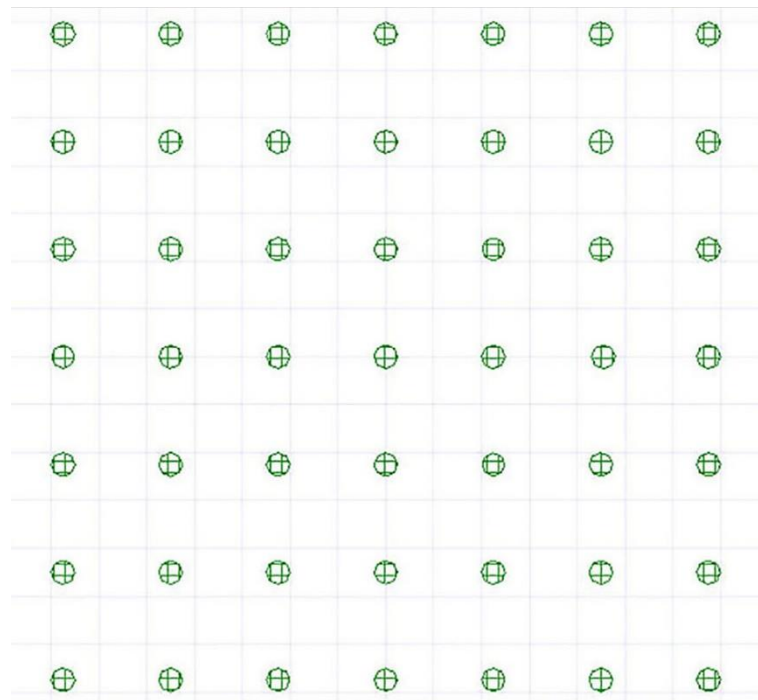


Figura 17-5. Matriz 7x7. Antena con un arreglo reflectario formado por 49 parches.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Está claro que las variaciones en el tamaño no se pueden ver a simple vista, porque son muy pequeñas, a nivel de μm , pero estas pequeñas variaciones son las que hacen que la onda incidente se refleje casi por completo en el LNB.

Podemos deducir que la onda reflejada al LNB será la suma de las ondas incidentes en cada parche, es así que cuantos más parches se tenga el arreglo reflectario tendrá mejor directividad. Considerando esto, por ejemplo, una matriz de 5x5 tiene un lóbulo principal de aproximadamente 30 grados para una frecuencia de 12 GHz, como se puede ver en la Figura 18-5.

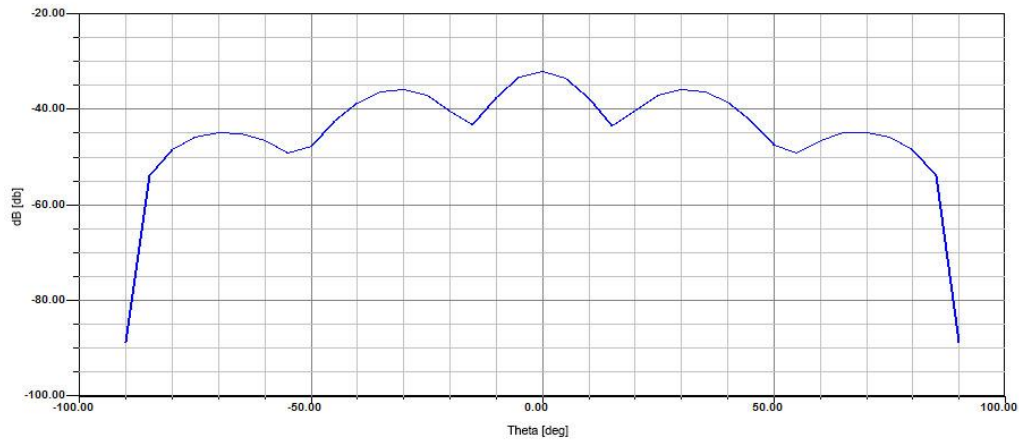


Figura 18-5. Patrón de radiación de un arreglo reflectario de 5x5 para 12 GHz.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

En una matriz de 7x7, la directividad se mejora, por lo que tiene un lóbulo principal más directivo, obviamente, se irradia mucha más cantidad de energía en la dirección del LNB. Esta mejora en la directividad puede observarse en la Figura 19-5, que es el patrón de radiación para 12 GHz.

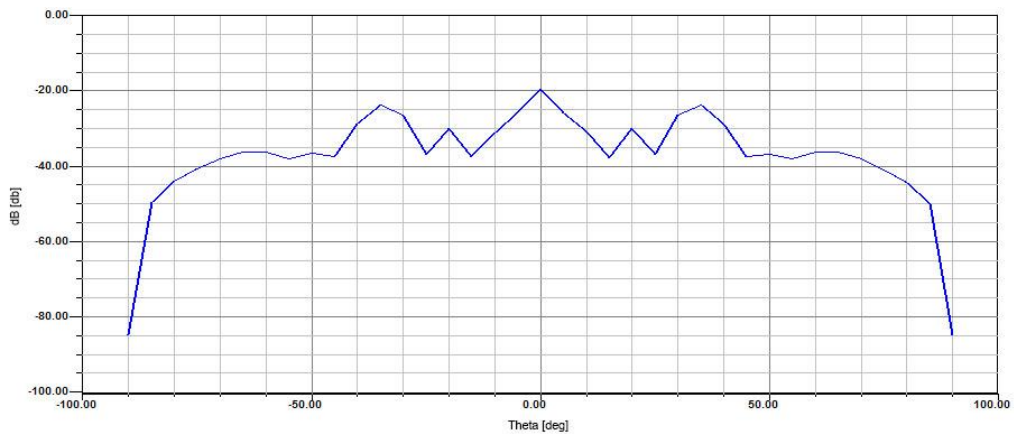


Figura 19-5. Patrón de radiación de un arreglo reflectario de 7x7 para 12 Ghz.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Como se indicó, existen lóbulos laterales, y para que un arreglo reflectario esté diseñado correctamente, debe haber una separación de al menos 13 dB entre el lóbulo principal y los lóbulos laterales. Analizando la Figura 19-5 puede observarse que el patrón de radiación tiene un comportamiento apropiado.

Una vez diseñada la antena con los parámetros adecuados y obteniendo, en las simulaciones, los resultados esperados, su diseño se muestra en la Figura 20-5 y la antena implementada en la Figura 21-5. Todo el proceso de diseño se muestra en el Anexo A. Se debe tomar en cuenta que

el sustrato dieléctrico sobre el cual se construyó es baquelita. Así mismo será necesario que cada parche tenga las dimensiones exactas, debido a que variación en el tamaño presentaría cambios mínimos en la fase de la onda reflejada. Con las especificaciones detalladas en secciones anteriores, se utilizó un LNB Telestar para la recepción de la señal.

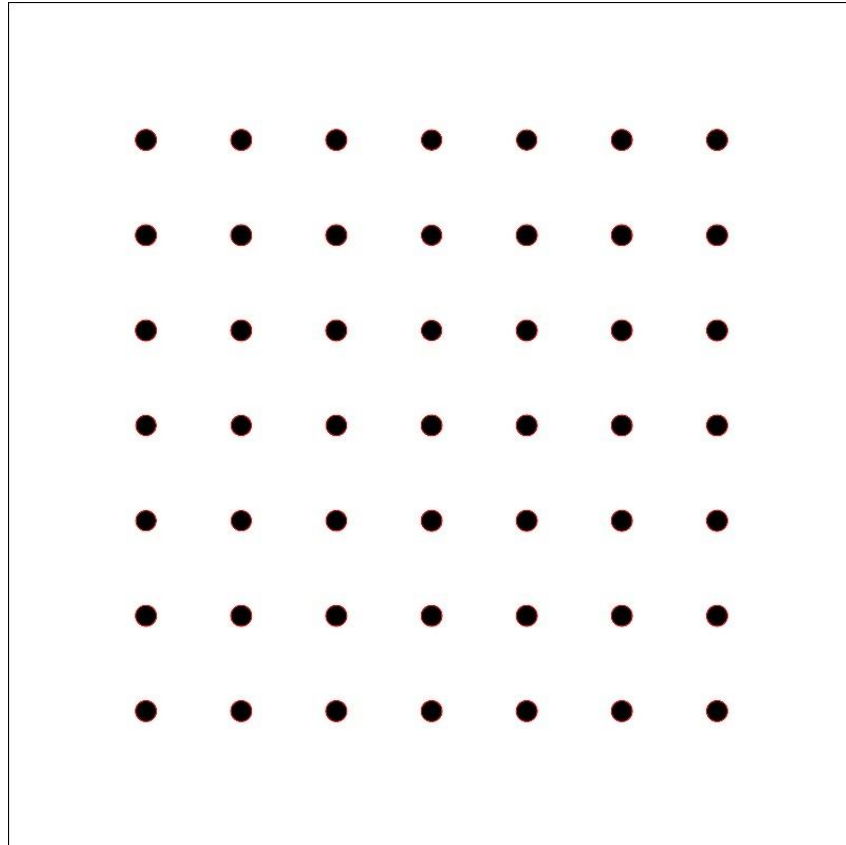


Figura 20-5. Antena microstrip, finalizada en su diseño, que fue implementada.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

5.7 *Construcción de la antena*

Para la implementación de la antena microstrip se consideraron los siguientes materiales:

- Una placa de baquelita
- Fitolito o transparencia
- Insoladora de rayos ultravioleta
- Revelador para placas fotosensibles

Para el proceso de construcción se realizaron los siguientes pasos:

- a. Considerando que la base a imprimir, en la baquelita, es de cobre, primeramente, se realiza una limpieza para quitar cualquier rastro de grasa o suciedad.

- b. En un recipiente se coloca la plancha de baquelita y una la emulsión fotográfica que cubre toda la plancha.
- c. Se prepara un negativo de la figura o circuito que se va a imprimir en la plancha de baquelita. Se obtiene el fotalito o transparencia.
- d. Se seca la emulsión fotográfica de la plancha de baquelita.
- e. En un cuarto oscuro se coloca la transparencia sobre la plancha emulsionada y con una prensa se comprime el negativo sobre la plancha.
- f. Seguidamente se da una exposición de luz especial con la insoladora sobre la plancha, más o menos unos 15 minutos.
- g. La plancha de baquelita emulsionada se revela sobre un líquido llamado revelador de placas fotosensibles.
- h. Una vez revelado, para grabar se introduce en una fuente con ácido. Luego se limpia y queda lista la plancha de baquelita con el diseño, tal como se muestra en la Figura 21-5.

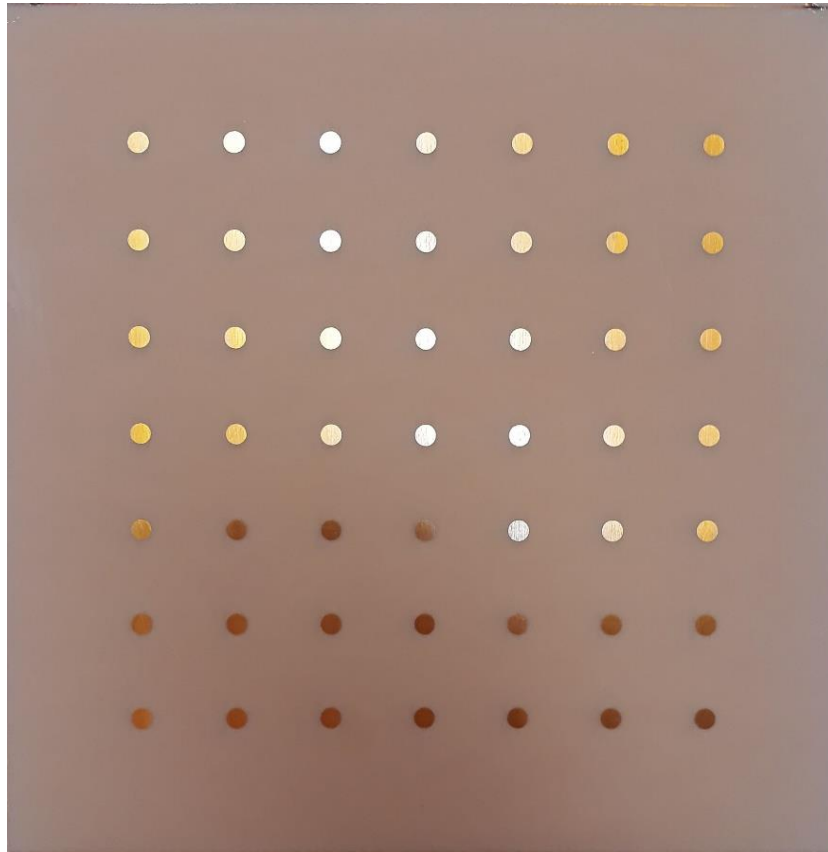


Figura 21-5. Antena microstrip, implementada en baquelita.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

5.8 *Costo para la construcción de la antena*

Para la implementación de la antena la Tabla 1-5 muestra los materiales y sus precios.

Tabla 1-5: Costo para la construcción de la antena microstrip.

No.	Materiales	Cantidad	Precio unitario	Sub total
1	Placa de baquelita	1	\$ 4,00	\$ 4,00
2	Fotolito o transparencia	1	\$ 2,50	\$ 2,50
3	Revelador para placas fotosensibles	1	\$ 15,00	\$ 15,00
4	Soporte de la antena	1	\$ 20,00	\$ 20,00
5	Mano de obra	1	\$ 20,00	\$ 15,00
Total				\$ 66,50

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Debemos anotar también que a este costo se le debe aumentar el precio del LBN, cable coaxial y el del decodificador para tener el kit completo.

CONCLUSIONES

- Analizar investigaciones que se han desarrollado e implementado con el uso de antenas microstrip, nos ha permitido, a través del estado del arte de dichas antenas, conocer metodológicas de diseño e implementación en base al estándar DVB-S, específicamente el EN 300-421, y analizar los diferentes parámetros para la transmisión y recepción de señales de televisión digital satelital. Se han analizado varios pasos que se deben seguir como por ejemplo la adaptación multiplexada de transporte, la codificación externa, definida por la Reed-Salomon, el entrelazado convolucional, la codificación interna, la conformación de la banda-base y la modulación.
- Diseñar y construir una antena microstrip y por consiguiente implementar un sistema de recepción de televisión digital satelital nos ha permitido concluir que la cantidad de energía reflejada en la dirección del LNB depende directamente de la cantidad de parches que se utilicen, de modo que, si se hace un arreglo refractario más grande, este garantizará una mayor directividad y eficacia de la antena.
- Evaluar los parámetros de la señal de televisión digital satelital que desde su origen está definido en el estándar DVB-S, nos ha permitido concluir que, para obtener una buena calidad de la señal se deben tomar en cuenta las características de las antenas y del LNB. Así mismo, debemos considerar los factores externos que pueden afectar levemente la calidad de la señal en la recepción como son los factores climáticos o ruidos externos que atenúan la señal.
- Implementar el sistema de recepción de televisión digital satelital ha permitido mejorar la calidad de servicio fundamentado en el estándar DVB-S en base al análisis de las mediciones realizadas y también haciendo un balance entre el sistema implementado y el sistema con una antena off-set.

RECOMENDACIONES

- Ampliar el análisis, diseño e implementación de antenas microstrip que permitan transmitir y recibir señales, con la finalidad de mejorar las comunicaciones, ya sea de señales a nivel terrestre o a nivel de satélites.
- Realizar análisis y aplicaciones con los estándares DVB-C [EN 300-429] para cable y DVB-T [EN 300-744] para redes terrestres con la finalidad de conocer y tener una mejor perspectiva de cómo funcionan las normas que rigen las comunicaciones a nivel mundial.
- Realizar comparaciones entre los parámetros obtenidos en la recepción de señales de televisión digital satelital considerando antenas del mismo tipo o la misma tecnología de construcción que permita evaluar de mejor manera la calidad de las señales en la recepción.

BIBLIOGRAFÍA

BALANIS, C. A. (2005). Antenna Theory Analysis and Desing. New Jersey: John Wiley & Sons.

EN300-421. (1997-08). Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services. V1.1.2.

ENCINAR, J. (2008). Analysis, Design and Applications of Reflectarrays. Chiclana: VI Iberian Meeting on Computational Electromagnetics.

HERNÁNDEZ, D. (2016). Diseño, simulación y comparación de antenas microcintas a una frecuencia de 2.4 GHz. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

HERNANDEZ, R. (2002). Metodología de la investigación. México: Mac Graw Hill.

HISPASAT, G. (s.f.). Recuperado el 4 de Noviembre de 2017, de www.hispasat.com

HUANG, J., & ENCIMAR, J. (2008). Reflectarray Antennas. New Jersey: John Wiley & Sons.

JARAMILLO, D., & QUISHPE, L. (2013). Estudio, diseño y construcción de un prototipo de arreglo de antenas microstrip para recepción en la banda X comparable a la ganancia de una antena parabólica. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

MAILLOUX, R. (2001). Phased array anntenna handbook. London: Artech House.

MARAL G., B. M. (2006). Satellite Communications Systems. Wiley.

RUIZ V., F. (2002). Televisión digital y por satélite. Tecnología de los receptores de televisión digitales y digitalizados. Barcelona: Ediciones CEAC.

VACA, S., & VENEGAS, B. (2011). Diseño y construcción de una antena tipo patch en la banda de 5.4 GHz. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército.

VALENZUELA, J. P. (2010). Migración de la plataforma satelital DVB-S a DVB-S2. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

VRISK, G. (2009). Development of an SNMP Managing Application for Adaptation of Coding & Modulation on DVB-S Satellite Modems. Graz, Austria: Karl-Franzens University of Graz.

ANEXOS

ANEXO A. Diseño de una antena con arreglo de parches reflectarios

Etapa 1: Diseño inicial de parches circulares para 12 GHz utilizando el software Ansoft Designer, Figura 1-A.

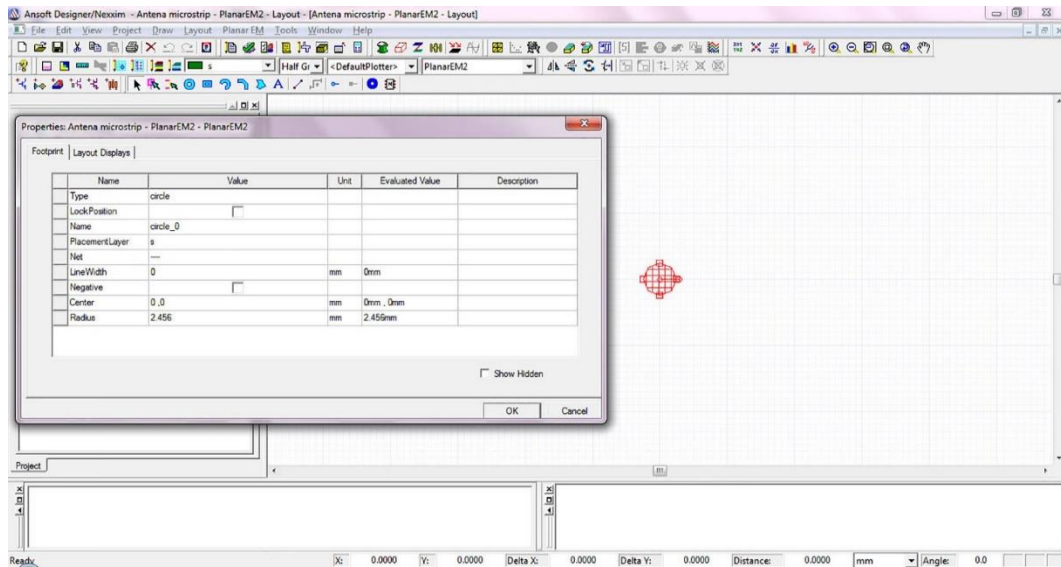


Figura 1-A. Diseño de parche circular para 12 GHz.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Etapa 2: En la Figura 2-A se presentan los resultados de optimización para determinar las variaciones de tamaño que van a tener los parches circulares, se han optimizado antenas circulares para 12 GHz. Los resultados presentan variaciones 0,001 GHz.

	S [dB]	ang_deg(RV.V) [deg] S=2.33mm' Setup 1: Sweep 1	ang_deg(RV.V) [deg] S=2.331mm' Setup 1: Sweep 1	ang_deg(RV.V) [deg] S=2.332mm' Setup 1: Sweep 1	ang_deg(RV.V) [deg] S=2.333mm' Setup 1: Sweep 1	ang_deg(RV.V) [deg] S=2.334mm' Setup 1: Sweep 1	ang_deg(RV.V) [deg] S=2.335mm' Setup 1: Sweep 1	ang_deg(RV.V) [deg] S=2.336mm' Setup 1: Sweep 1	ang_deg(RV.V) [deg] S=2.337mm' Setup 1: Sweep 1
1	2.330000	109.341509							
2	2.331000		109.239693						
3	2.332000			109.342324					
4	2.333000				109.465788				
5	2.334000					109.104923			
6	2.335000						109.144918		
7	2.336000							108.816311	
8	2.337000								109.346
9	2.338000								
10	2.339000								
11	2.340000								
12	2.341000								
13	2.342000								
14	2.343000								
15	2.344000								
16	2.345000								

Figura 2-A. variaciones de tamaño para parches circulares, optimizado a 12 GHz.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Etapa 3: La optimización realizada, Figura 3-A, para la obtención de las curvas de relación diámetro VS fase, con estos valores se obtuvo los resultados de la variación en diámetro que deben presentar cada uno de los parches que formará el arreglo para de esta manera obtener las variaciones de fase, para las antenas circular de 12 GHz.

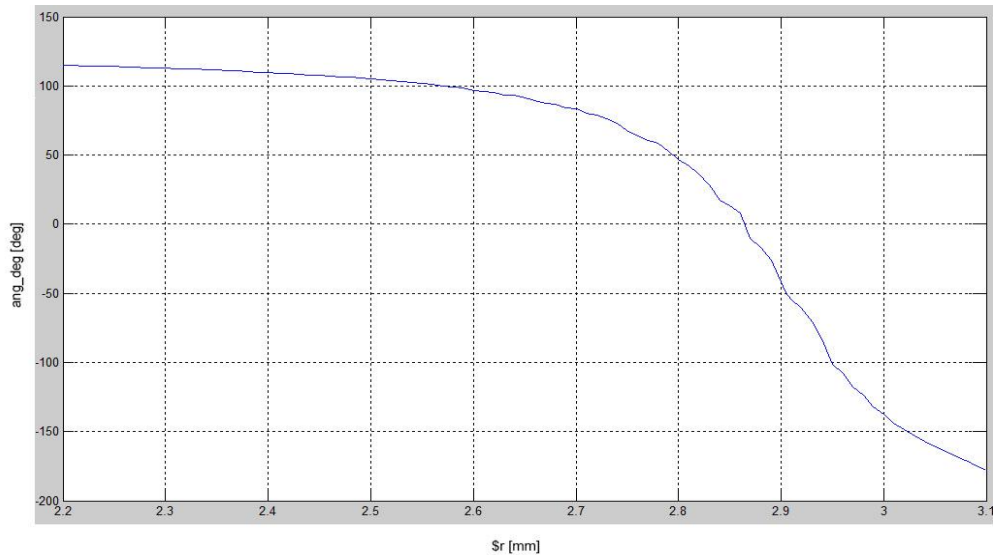


Figura 3-A. Curva de relación diámetro VS fase.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Etapa 4: Se desarrollan arreglos de antenas de diferente tamaño partiendo por un arreglo de 1x1, 3x3, 5x5 y 7x7. Aquí se obtienen los resultados de simulación en los cuales se pueden observar cómo la directividad de la antenna empieza a mejorar conforme más grande es el arreglo, Figuras 4-A, 5-A y 6-A.

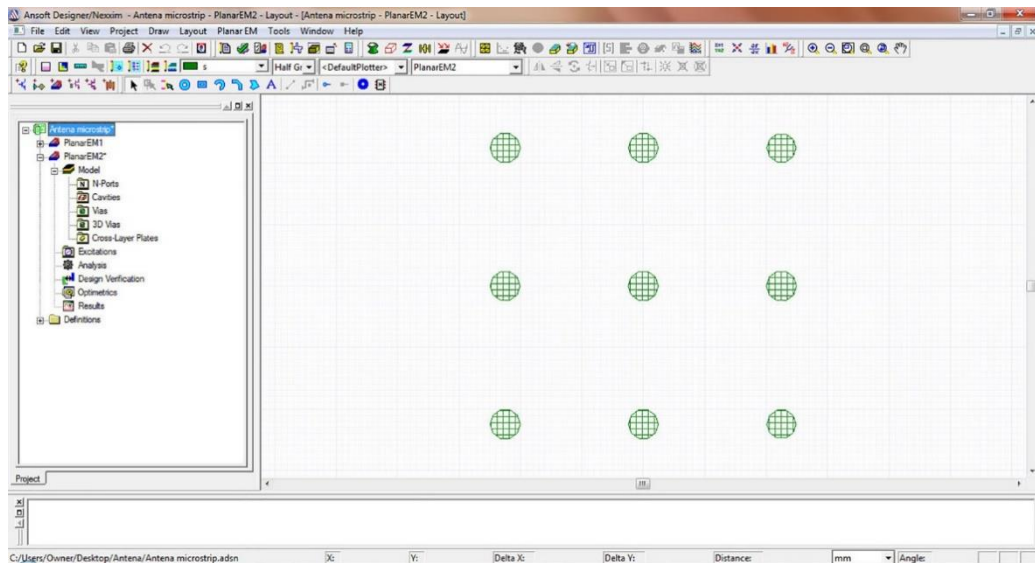


Figura 4-A. Arreglo de 3x3

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

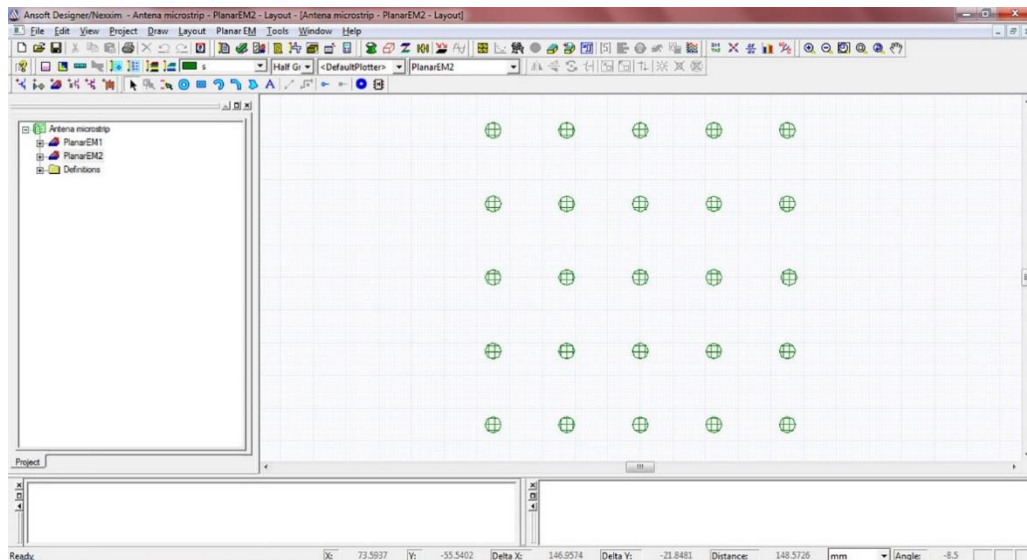


Figura 5-A. Arreglo de 5x5

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

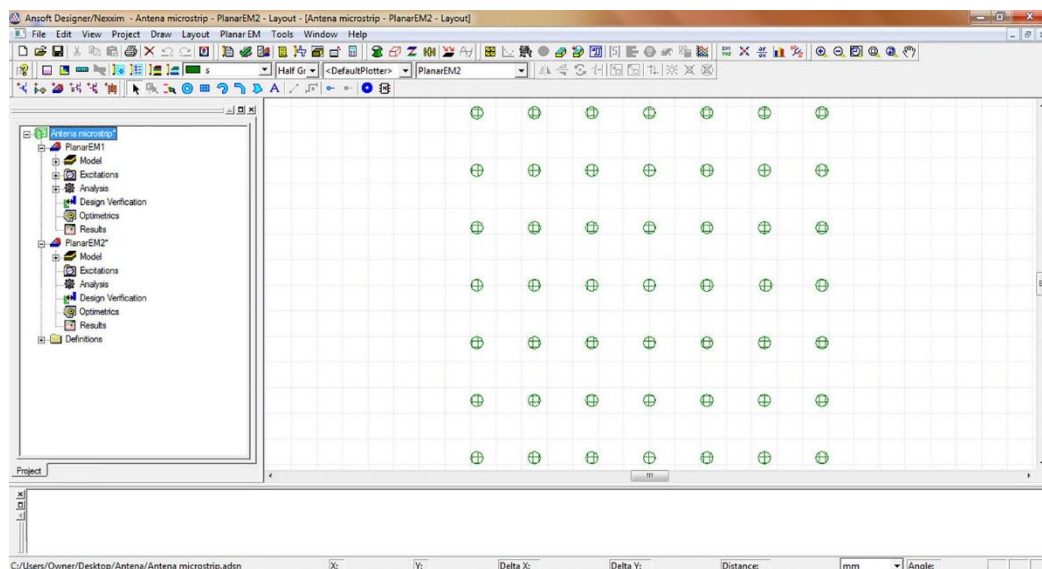


Figura 6-A. Arreglo de 7x7

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Etapa 5: Se realiza la simulación del arreglo de 7x7, Figura 7-A, que es el arreglo que se implementó, simulado con el plano de tierra, esto con la finalidad de comprobar que no existen alteraciones en el comportamiento del coeficiente de reflexión.

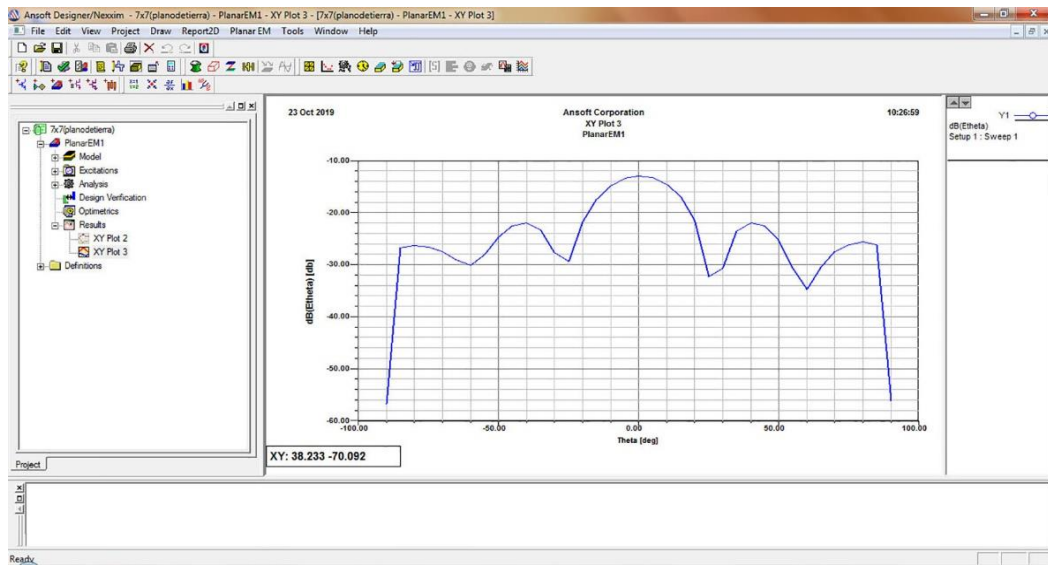


Figura 7-A. Simulación del arreglo 7x7 implementado.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

Etap 6: Se realiza la simulación de la antena que será implementada. El diseño pasará a un proceso en AutoCAD en el cual se obtiene la antena lista para su implementación, Figura 8-A. En su fabricación se utilizó tecnología de circuito impreso, como se muestra en la Figura 9-A y Figura 10-A.

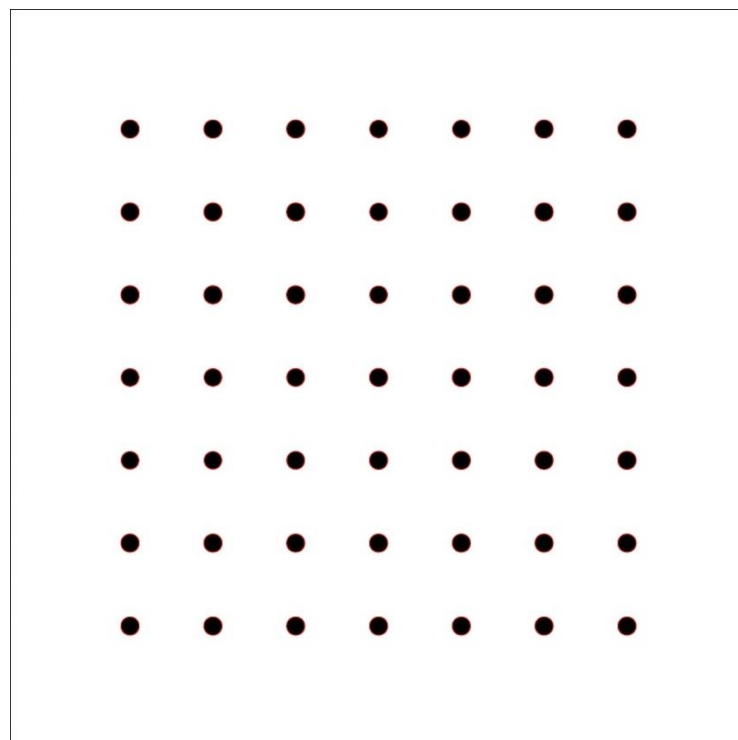


Figura 8-A. Antena lista para su implementación

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

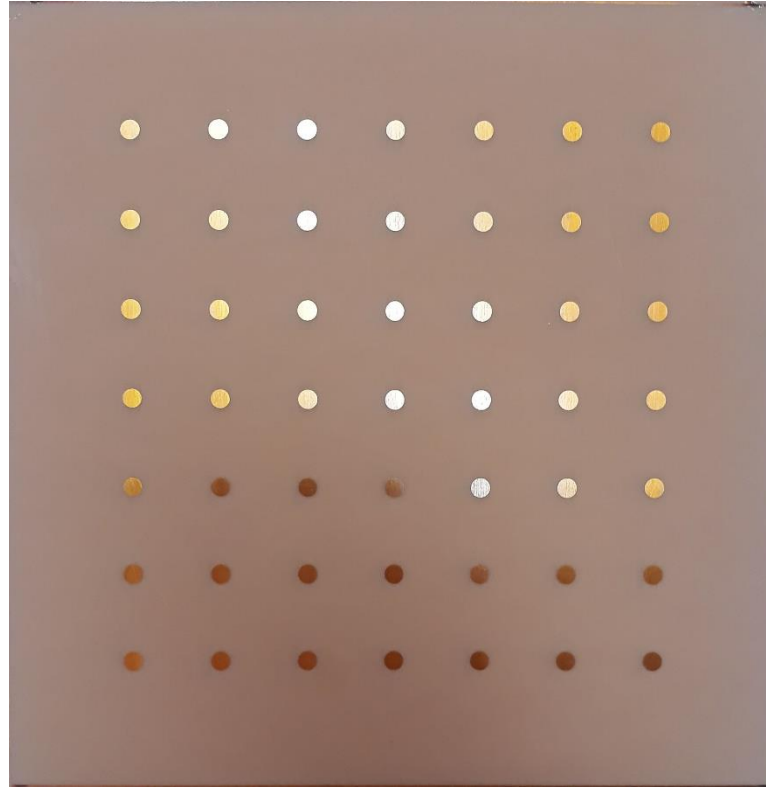


Figura 9-A. Antena microstrip construida.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.



Figura 10-A. Sistema de recepción de televisión digital satelital.

Realizado por: Noboa, Ernesto, 2018.

ANEXO B: Valores para que las ondas incidentes se reflejen en un punto común.

\$d [mm]	ang_deg(R(V V)) [deg] Setup 1 : Sweep 1
2,2	136,829222
2,21	136,020439
2,22	135,693704
2,23	135,379056
2,24	135,055837
2,25	134,605164
2,26	134,286419
2,27	133,932478
2,28	133,569553
2,29	133,170065
2,3	132,811592
2,31	132,414656
2,32	132,006378
2,33	130,944351
2,34	130,494754
2,35	130,052284
2,36	129,529055
2,37	129,033422
2,38	128,19939
2,39	128,042876
2,4	127,445008
2,41	126,879064
2,42	125,933611
2,43	125,808468
2,44	125,094444
2,45	124,09121
2,46	123,865172
2,47	123,168715
2,48	122,638937
2,49	121,512506
2,5	121,112904
2,501	121,043244
2,502	121,348875
2,503	120,884325
2,504	120,794989
2,505	120,322548
2,506	120,643657
2,507	120,56315
2,508	120,48171

2,509	119,993138
2,51	120,318564
2,511	119,826422
2,512	120,153558
2,513	120,469307
2,514	119,98756
2,515	119,904282
2,516	119,820507
2,517	119,725824
2,518	119,651608
2,519	119,973272
2,52	119,48162
2,521	118,972222
2,522	119,309976
2,523	118,797378
2,524	119,137704
2,525	119,050354
2,526	118,963034
2,527	118,44283
2,528	118,787461
2,529	118,69921
2,53	119,0322
2,531	118,521403
2,532	118,431656
2,533	118,34178
2,534	118,23897
2,535	118,16073
2,536	118,500628
2,537	117,978484
2,538	117,873953
2,539	117,794613
2,54	117,688893
2,541	117,609288
2,542	117,955434
2,543	117,422184
2,544	117,314516
2,545	116,772844
2,546	117,138617
2,547	117,043281
2,548	116,94752
2,549	116,851375

2,55	116,755102
2,551	116,65761
2,552	116,560628
2,553	116,46267
2,554	116,364309
2,555	116,265529
2,556	121,101787
2,557	120,591638
2,558	120,93808
2,559	120,855512
2,56	120,339739
2,561	120,256063
2,562	120,606613
2,563	120,534731
2,564	119,999918
2,565	120,354786
2,566	120,270094
2,567	120,481317
2,568	120,205917
2,569	120,120365
2,57	120,03501
2,571	120,5185
2,572	119,97513
2,573	119,889159
2,574	119,883684
2,575	119,231117
2,576	119,627719
2,577	119,539669
2,578	119,534851
2,579	119,362674
2,58	119,357806
2,581	119,184286
2,582	117,176135
2,583	117,079604
2,584	116,981727
2,585	116,883829
2,586	116,786049
2,587	116,687261
2,588	116,587898
2,589	116,488078
2,59	116,388055

2,591	116,288158
2,592	116,18722
2,593	115,850496
2,594	115,983485
2,595	115,881563
2,596	115,778924
2,597	115,910745
2,598	115,571912
2,599	115,227961
2,6	115,601747
2,601	115,49749
2,602	115,153063
2,603	115,144386
2,604	114,941118
2,605	114,834048
2,606	114,727
2,607	114,717958
2,608	114,756339
2,609	114,402392
2,61	114,041703
2,611	114,183168
2,612	114,322906
2,613	113,962216
2,614	113,953547
2,615	113,739397
2,616	113,36918
2,617	113,514057
2,618	113,505243
2,619	113,287709
2,62	113,277987
2,621	113,058089
2,622	112,942674
2,623	112,826371
2,624	112,710265
2,625	112,593007
2,626	112,47536
2,627	112,357574
2,628	112,238994
2,629	112,119861
2,63	111,999926
2,631	111,879611
2,632	111,758413
2,633	111,636919
2,634	111,789505
2,635	111,668553

2,636	111,269644
2,637	111,423816
2,638	111,300385
2,639	110,89617
2,64	110,770671
2,641	110,761824
2,642	110,517622
2,643	110,390848
2,644	110,262682
2,645	110,133728
2,646	110,004823
2,647	109,874684
2,648	110,037157
2,649	109,90744
2,65	109,481547
2,651	109,34989
2,652	109,51362
2,653	109,083068
2,654	109,073785
2,655	108,813424
2,656	108,678176
2,657	108,541247
2,658	108,405175
2,659	108,267489
2,66	108,12868
2,661	107,990055
2,662	107,850103
2,663	107,710069
2,664	107,568562
2,665	107,426282
2,666	107,283972
2,667	107,140491
2,668	106,996488
2,669	106,852123
2,67	106,707263
2,671	106,88555
2,672	106,413606
2,673	105,933054
2,674	106,446629
2,675	106,299822
2,676	105,819008
2,677	105,809713
2,678	105,517108
2,679	105,364755
2,68	105,212212

2,681	105,202465
2,682	104,903548
2,683	104,748386
2,684	104,592221
2,685	104,435681
2,686	104,626537
2,687	104,119553
2,688	104,3122
2,689	103,799416
2,69	103,638418
2,691	103,476073
2,692	103,672724
2,693	103,149744
2,694	103,140436
2,695	102,819093
2,696	102,654037
2,697	102,486326
2,698	102,31843
2,699	102,149271
2,7	102,354059
2,701	101,808942
2,702	101,637209
2,703	101,464973
2,704	101,673921
2,705	101,117133
2,706	100,941354
2,707	100,765789
2,708	100,587913
2,709	100,409833
2,71	100,23127
2,711	100,446882
2,712	99,869682
2,713	99,687801
2,714	99,504088
2,715	99,495823
2,716	99,135395
2,717	99,127459
2,718	98,76254
2,719	98,154447
2,72	98,384808
2,721	98,377029
2,722	98,422387
2,723	98,231376
2,724	97,618349
2,725	97,424174

2,726	97,655951
2,727	97,032061
2,728	96,418177
2,729	96,217868
2,73	96,015156
2,731	95,811448
2,732	95,200239
2,733	95,402508
2,734	95,212302
2,735	94,987565
2,736	94,777969
2,737	94,567719
2,738	94,37336
2,739	94,143352
2,74	93,94729
2,741	93,71487
2,742	93,49839
2,743	93,27986
2,744	93,077378
2,745	92,840858
2,746	92,618763
2,747	92,396096
2,748	92,172418
2,749	91,946104
2,75	91,720146
2,751	91,041109
2,752	91,263131
2,753	91,033032
2,754	90,800451
2,755	90,104184
2,756	90,333404
2,757	89,628903
2,758	89,859646
2,759	89,593693
2,76	89,381205
2,761	89,139125
2,762	88,913637
2,763	88,670374
2,764	88,405477
2,765	88,158733
2,766	87,907939
2,767	87,659212
2,768	87,407147
2,769	87,171653
2,77	86,899339

2,771	86,659832
2,772	86,402948
2,773	86,123731
2,774	85,863155
2,775	85,601832
2,776	85,336326
2,777	85,071271
2,778	84,804245
2,779	84,534585
2,78	84,264105
2,781	83,991074
2,782	83,717482
2,783	83,440912
2,784	83,163837
2,785	82,885373
2,786	82,603607
2,787	82,321099
2,788	82,036585
2,789	81,751909
2,79	81,464423
2,791	81,174304
2,792	80,883128
2,793	80,590985
2,794	80,296265
2,795	79,999882
2,796	79,701111
2,797	79,399972
2,798	79,0989
2,799	78,795385
2,8	78,490602