



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MODELO PARA OPTIMIZAR
EL PROCESO DE POLARIZACIÓN CRUZADA PARA LAS
ANTENAS REMOTAS CONECTADAS AL SATÉLITE SIMÓN
BOLÍVAR

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
presentado ante la
UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
Como parte de los requisitos para optar al título de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REALIZADO POR: Br. David E. Giner Hernández
Br. Christofer R. Mijares Lyon
TUTOR: Ing. Eugenio Flores
FECHA: Caracas, Febrero de 2012



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MODELO PARA OPTIMIZAR
EL PROCESO DE POLARIZACIÓN CRUZADA PARA LAS
ANTENAS REMOTAS CONECTADAS AL SATÉLITE SIMÓN
BOLÍVAR

| | |
|----------------|--|
| REALIZADO POR: | Br. David E. Giner Hernández Br. Christofer R. Mijares Lyon |
| TUTOR: | Ing. Eugenio Flores |
| FECHA: | Caracas, Febrero de 2012 |



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MODELO PARA OPTIMIZAR
EL PROCESO DE POLARIZACIÓN CRUZADA PARA LAS
ANTENAS REMOTAS CONECTADAS AL SATÉLITE SIMÓN
BOLÍVAR

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su
contenido con el resultado: _____

JURADO EXAMINADOR

Firma: Firma: Firma:
Nombre: Nombre: Nombre:.....

REALIZADO POR: Br. David E. Giner Hernández
Br. Christofer R. Mijares Lyon

TUTOR: Ing. Eugenio Flores.

FECHA: Caracas, Febrero de 2012

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MODELO PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE POLARIZACIÓN CRUZADA PARA LAS ANTENAS REMOTAS CONECTADAS AL SATÉLITE SIMÓN BOLÍVAR

David E. Giner Hernández

davidginer@gmail.com

Christofer R. Mijares Lyon

christofer.lmijares@gmail.com

Resumen

Dada la creciente necesidad del comisionamiento de estaciones remotas por parte del personal satelital de la Compañía Anónima Nacional Teléfonos de Venezuela (CANTV), el presente trabajo especial de grado consistió en la creación de un nuevo modelo para el comisionamiento y medición de los parámetros de polarización cruzada en estaciones remotas que están enlazadas al Satélite Simón Bolívar (VENESAT-1), pertenecientes a la red satelital de CANTV. Para el desarrollo del presente proyecto se investigó sobre el funcionamiento básico de los sistemas de comunicación satelital, principalmente sobre la polarización lineal en la reutilización de frecuencias con el Satélite Simón Bolívar. Posteriormente ya conocidos los equipos y métodos de comunicación a utilizar se procedió a diseñar e implementar un modelo para el comisionamiento o revisión de estaciones remotas en referencia a la polarización cruzada. La metodología planteada para llevar a cabo el proyecto, se basó en una investigación documental y de campo, enmarcada dentro de un proyecto del tipo factible, en la cual se precisaron 6 fases para lograr cumplir los objetivos propuestos. Culminadas las fases planteadas, se logró crear un nuevo modelo que permitió optimizar los procedimientos para la obtención de los parámetros de polarización cruzada, el cual cuenta con máscara, niveles de referencia establecidos y gestión remota desde cualquier localidad de CANTV, o vía VPN (Virtual Privated Network).

Palabras clave: Polarización, Comisionamiento, Satélite, Enlace y Estación Terrena.

Dedicatoria

A mi **familia**,
por apoyarme en todo momento de forma incondicional,
gracias por estar siempre presentes
un ejemplo a seguir y por haberme enseñado que con
esfuerzo y dedicación todo se puede lograr.
Ustedes me han brindado una y otra vez
esa fuerza y esa energía para salir victoriosos ante los
obstáculos de la vida.

David Giner

A Dios, por sostenerme siempre en sus
brazos y permitirme llegar hasta aquí.
A mis padres por darme todo, cuidarme
y apoyarme en todo momento.
A mis hermanos mis mejores
amigos en esta vida.
A mi compañero de tesis,
sin ti no lo logro.

Christofer Mijares

Agradecimientos

A nuestro tutor del proyecto el Ing. Eugenio Flores, al aportar todo su conocimiento e ideas durante el proceso de elaboración del presente Trabajo Especial de Grado. Igualmente para el Lic. Fermín Giner por toda la colaboración prestada durante el desarrollo del proyecto dentro y fuera de CANTV.

A la Compañía Anónima Nacional Teléfonos de Venezuela (CANTV) quienes confiaron en nosotros y nos dieron la oportunidad de realizar el presente proyecto. Igualmente a todos los trabajadores de dicha empresa que de alguna u otra manera contribuyeron con la realización de este proyecto, en especial a quienes va dirigido el proyecto.

Nuestro más profundo agradecimiento a la Universidad Católica Andrés Bello en su sede en Caracas y a todos los profesores que esta la conforman, que a lo largo de la carrera nos impartieron los conocimientos necesarios para darnos una excelente formación profesional y lograr formarnos como profesionales integrales.

A todos... Gracias.

Índice General

| | |
|---|-----|
| Resumen..... | I |
| Dedicatoria | III |
| Agradecimientos..... | V |
| Índice General | VII |
| Índice de Figuras..... | X |
| Índice de Tablas | XI |
| Índice de Anexos | XII |
| Introducción..... | 1 |
| Capítulo I: Planteamiento del Problema | 3 |
| I.1. Planteamiento del problema. | 3 |
| I.2. Objetivo general. | 5 |
| I.3. Objetivos específicos. | 5 |
| I.4. Limitaciones. | 6 |
| I.5. Alcances. | 6 |
| I.6. Justificación..... | 7 |
| Capítulo II: Marco Referencial..... | 9 |
| II.1. Los satélites de comunicación. | 9 |
| II.2. El Satélite Simón Bolívar (VENESAT-1)..... | 11 |
| II.3. Enlace Satelital. | 13 |
| II.3.1. Estación Terrena. | 14 |
| II.3.1.1. VSAT. | 16 |
| II.3.2. Sistema de antena. | 17 |

| | |
|---|----|
| II.4. La polarización. | 19 |
| II.4.1. Tipos de polarización | 20 |
| II.4.2. La polarización cruzada. | 21 |
| II.4.2.1. Discriminación de la polarización cruzada | 23 |
| II.4.2.2. Transductor Ortomodo (OMT)..... | 26 |
| II.5. Herramientas requeridas en el proyecto..... | 27 |
| II.5.1. Hardware..... | 27 |
| II.5.1.1. El analizador de Espectros. | 27 |
| II.5.1.1.1 Agilent N9010A EXA. | 29 |
| II.5.1.2. Interfaz RJ-45. | 30 |
| II.5.2. Software Utilizado..... | 31 |
| II.5.2.1. MATLAB. | 31 |
| II.5.2.1.1 Instrument Control Toolbox en MATLAB. | 32 |
| Capítulo III: Metodología..... | 35 |
| III.1. Tipo de Investigación. | 35 |
| III.2. Diseño de Investigación..... | 36 |
| III.3. Período y lugar donde se desarrolla la investigación. | 38 |
| III.4. Universo y Muestra | 39 |
| III.5. Selección de las variables. | 40 |
| III.6. Procedimientos..... | 44 |
| III.7. Métodos de recolección de la información. | 46 |
| Capítulo IV: Desarrollo | 49 |
| IV.1. Fase 1: Recopilación de información. | 49 |
| IV.2. Fase 2: Investigación en Campo. | 50 |

| | | |
|---------------|--|-----|
| IV.3. | Fase 3: Selección del protocolo e interfaz. | 51 |
| IV.4. | Fase 4: Diseño de la aplicación. | 53 |
| IV.4.1. | Configuración MATLAB. | 53 |
| IV.4.2. | Creación de la interfaz gráfica. | 54 |
| IV.4.3. | Programación de la interfaz gráfica. | 55 |
| IV.5. | Fase 5: Pruebas finales. | 65 |
| IV.6. | Fase 6: Elaboración del documento técnico. | 69 |
| Capítulo V: | Resultados | 71 |
| V.1. | Fase 1: Recopilación de información. | 71 |
| V.2. | Fase 2: Investigación en Campo. | 72 |
| V.3. | Fase 3: Selección del protocolo e interfaz. | 72 |
| V.4. | Fase 4: Diseño de la aplicación. | 73 |
| V.5. | Fase 5: Pruebas finales. | 74 |
| V.6. | Fase 6: Elaboración del documento técnico. | 80 |
| Capítulo VI: | Conclusiones y Recomendaciones | 83 |
| VII.1. | Conclusiones. | 83 |
| VII.2. | Recomendaciones. | 85 |
| Bibliografía. | | 87 |
| Anexos | | 91 |
| Apéndice 1. | Glosario de Términos. | 91 |
| Apéndice 2. | Recomendaciones ITU. | 94 |
| Apéndice 3. | Extractos Código Fuente. | 95 |
| Apéndice 4. | Manual de Usuario. | 97 |
| Apéndice 5. | Fotos del Proyecto. | 107 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ejemplo, satélite de gran cobertura o huella para el norte del océano Atlántico. | 10 |
| Figura 2. Representa el sistema satelital para el satélite Simón Bolívar. | 12 |
| Figura 3. Esquema de las partes del satélite Simón Bolívar. | 13 |
| Figura 4. Huella de cobertura de las bandas del satélite Simón Bolívar. | 13 |
| Figura 5. Antena con reflector parabólico único y alimentación frontal. | 18 |
| Figura 6. Ejemplo de la trayectoria en vector campo eléctrico en polarización vertical, circular y elíptica respectivamente. | 19 |
| Figura 7. Diagramas teóricos de Co-Polarización y Cross-Polarización. | 25 |
| Figura 8. Trasmisión y recepción de un enlace RF con reutilización de frecuencias y presencia de Co-polarización y Cross-polarización. | 26 |
| Figura 9. Vista frontal y trasera del analizador de Espectros Agilent N9010A EXA. | 29 |
| Figura 10. Cable directo 568A. | 30 |
| Figura 11. Cable directo 568B. | 30 |
| Figura 12. Cable cruzado 568A/568B. | 31 |
| Figura 13. Funcionamiento general del software desarrollado para adquisición de información. | 47 |
| Figura 14. Ejemplo de programación con código JAVA en MATLAB. | 54 |
| Figura 15. Ejemplo para envíos de comandos SCPI desde MATLAB. | 56 |
| Figura 16. Esquema descriptivo de la solución propuesta. | 69 |
| Figura 17. Resultado final del diseño de la interfaz gráfica. | 74 |
| Figura 19. Uso de máscara y detector de picos en la interfaz gráfica. | 76 |
| Figura 20. Adquisición de ancho de banda y potencia de la señal de prueba. | 76 |
| Figura 21. Adquisición de potencia de la señal de ruido. | 77 |
| Figura 22. Adquisición de la portadora sin modulación. | 78 |
| Figura 23. Medición de la portadora sin modulación. | 79 |
| Figura 24. Medición de la Cross-Polarización. | 79 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1.Variable: Ancho de ventana (Span). | 40 |
| Tabla 2.Variable: Frecuencia Central (Fc). | 40 |
| Tabla 3.Variable: Frecuencia Pico (Fc). | 41 |
| Tabla 4.Variable: Nivel de Referencia. | 41 |
| Tabla 5.Variable: Ancho de Banda. | 41 |
| Tabla 6.Variable: Potencia. | 42 |
| Tabla 7. Variable: Escala/Div. | 42 |
| Tabla 8.Variable: Discriminación Polarización Cruzada (XPD). | 42 |
| Tabla 9.Variable: Frecuencia Inicial y Final. | 43 |
| Tabla 10.Variable: Resolución AB. | 43 |
| Tabla 11.Variable: AB de Video. | 43 |
| Tabla 12.Variable: Tiempo de Barrido. | 44 |
| Tabla 13.Variable: Atenuación. | 44 |
| Tabla 14.Procedimientos utilizados durante la investigación. | 45 |

Índice de Anexos

| | |
|---|-----|
| Anexo 1. Glosario de Términos. | 91 |
| Anexo 2. Recomendaciones por la ITU, para la discriminación de la polarización cruzada en estaciones remotas del tipo VSAT. | 94 |
| Anexo 3. Extracto del código fuente de la interfaz gráfica programada en MATLAB, su función es adquirir los valores iniciales al conectarse la interfaz gráfica. | 95 |
| Anexo 4. Extracto del código fuente de la interfaz gráfica programada en MATLAB, su función activar o desactivar la transferencia de datos entre el analizador y la interfaz gráfica. | 96 |
| Anexo 5. Manual de Usuario. | 97 |
| Anexo 6. Estación terrena del tipo VSAT perteneciente a la red satelital de CANTV con capacidad de establecer un enlace con Polarización Cruzada. | 107 |
| Anexo 7. LNB de una estación terrena tipo VSAT perteneciente a CANTV con capacidad de establecer enlaces satelitales en Polarización Cruzada. | 108 |

Introducción

El 29 de octubre del 2008, fue lanzado desde el Centro espacial de Xichang en China el primer satélite artificial propiedad del estado venezolano con nombre VENESAT-1, posteriormente bautizado bajo el nombre de Satélite Simón Bolívar. El objetivo principal del satélite es facilitar el acceso y transmisión de información ofreciendo conexión a Internet, telefonía, televisión, telemedicina y tele-educación para la población Venezolana y otros países de la región.

CANTV, como empresa proveedora de servicios de telecomunicaciones perteneciente al Estado Venezolano, es la encargada de operar los servicios que puede ofrecer el Satélite Simón Bolívar para Venezuela.

Bajo este esquema, el Satélite Simón Bolívar permite establecer los enlaces satelitales de las estaciones remotas de clientes, tratando de optimizar los recursos y el espectro. De esta forma, para esta optimización de recursos satelitales, es utilizada la polarización cruzada, la cual en el Satélite Simón Bolívar permite transmitir una portadora con información de dos formas, vertical y horizontal, incorporando la transmisión y recepción, ambas a una misma frecuencia. En consecuencia esto hace posible duplicar la capacidad del enlace, por la reutilización de frecuencias.

Es deber de CANTV como encargada de operar los servicios que pueden ser ofrecidos por el Satélite Simón Bolívar, utilizar procesos sistemáticos que garanticen que los equipos de transmisión interactúen correctamente entre sí, de acuerdo con las necesidades operativas, es decir, realizar el correcto comisionamiento e instalación de las estaciones remotas, empleando la polarización cruzada. En este proceso los enlaces establecidos necesitan para operar que la discriminación entre las dos polarizaciones (XPD) sea suficiente para asegurar la operación sin interferencia.

El valor nominal de XPD viene dado por los patrones de polarización cruzada de las antenas y este normalmente es del orden de 30-40 dB, dependiendo de la red a instalar.

Es por ello, que el presente Trabajo Especial de Grado tiene como finalidad el diseño e implementación de un modelo para optimizar el proceso de medición de la polarización cruzada para las antenas remotas conectadas al Satélite Simón Bolívar pertenecientes a la red de CANTV.

La idea de este proyecto provino de una propuesta presentada por la Gerencia de Seguridad de la Operación y Servicios y Operaciones Satelitales de CANTV para optimizar el proceso descrito, buscando una solución en la cual el modelo a crear tenga la capacidad de una sola vista centralizada, gestión remota, unificación de criterios, referencias o máscaras gráficas para la identificación de problemas al momento de configurar las estaciones remotas en cuanto a la polarización cruzada, así como la auditoria de los parámetros establecidos para el aseguramiento de la operación y calidad del servicio, con el fin de prevenir eventos de negación o degradación del servicio.

Capítulo I: Planteamiento del Problema

En el presente capítulo se exponen los aspectos referidos al planteamiento del problema en relación al trabajo especial de grado. El capítulo está constituido por: el problema, el objetivo general, los objetivos específicos, las limitaciones, los alcances y la justificación.

I.1. Planteamiento del problema.

Los Satélites de comunicaciones han prestado servicio durante más de 4 décadas, evolucionando continuamente en su tecnología y aplicaciones. Sin embargo, se conoce que existen otros medios de transporte de información que se han destacado sobre los sistemas satelitales por su disponibilidad e inmunidad a agentes externos, igualmente, los sistemas satelitales siguen vigentes y mantienen su importancia para el despliegue de servicios de telecomunicaciones en localidades remotas y aplicaciones militares, entre otros, con mejoras importantes en relación a redes IP y a la Calidad del Servicio.

Actualmente, existen inconvenientes para los nuevos operadores que desean ingresar en el mundo de las telecomunicaciones satelitales, con su propio satélite, esto dado que existe una saturación de la órbita geoestacionaria, principalmente para la banda C y Ku, lo que hace dificultoso la coordinación satelital con otros grandes proveedores.

En el caso del Satélite Simón Bolívar, las antenas que se utilizan para establecer los enlaces satelitales cuentan con la posibilidad de poder transmitir en polarización lineal (vertical y horizontal), las cuales son ortogonales entre sí, pudiendo así transmitir dos señales en una misma banda de frecuencia y de este modo poder doblar la capacidad de información manejada, interfiriendo lo menos posible con satélites adyacentes en la órbita geoestacionaria.

Algo fundamental durante la instalación de antenas remotas que cuentan con la capacidad de transmisión en polarización cruzada es mantener un buen nivel de aislamiento entre las dos polarizaciones, de tal manera que la interferencia entre las dos señales sea mínima. La antena, por lo tanto tiene un patrón de radiación para la polarización cruzada que debe ser ajustado manualmente durante su instalación, para así asegurar el punto donde la ganancia de ambas señales será máxima, porque de lo contrario la señal se degrada para direcciones diferentes.

Este parámetro de polarización cruzada es importante para determinar la calidad del servicio y estabilidad de las estaciones remotas conectadas al Satélite Simón Bolívar. Actualmente el personal de CANTV encargado de la configuración de las estaciones remotas hacia el Satélite Simón Bolívar, utilizan su propio método medición donde se requieren de dos analizadores de espectro por separado para visualizar en cada uno la señal que se trasmite y recibe, uno para la señal en polarización vertical y el otro para la señal en polarización horizontal, estos equipos se encuentran en las estaciones terrenas: Camatagua y Bamari, y desde éstas se comunican con el personal que está ajustando la antena en sitio, para coordinar la posición donde se logra la mejor lectura en términos de ganancia, y máxima calidad en el servicio, en relación a sus diferentes parámetros incluyendo la polarización cruzada, quedando entonces la antena ajustada, y sin señal interferente.

El propósito de este trabajo especial de grado, es lograr desarrollar un modelo que permita optimizar los procedimientos actuales del personal satelital de CANTV, en cuanto a la polarización cruzada, así como también que permita la identificación oportuna de problemas al momento de configurar las antenas remotas, teniendo patrones o máscaras preestablecidas. La propuesta del modelo incluye: Gestión remota desde cualquier localidad de CANTV, o vía VPN. Así como también, debe incluir muestra gráfica de la polarización lineal (vertical y horizontal), teniendo marcos de referencia o máscaras.

I.2. Objetivo general.

Diseño e implementación de un modelo para la optimización del proceso relacionado con la polarización cruzada durante el comisionamiento de antenas remotas enlazadas al Satélite Simón Bolívar (VENESAT-1).

I.3. Objetivos específicos.

- Investigar el funcionamiento básico de los sistemas de comunicación satelital, particularmente el satélite Simón Bolívar (VENESAT-1).
- Investigar el funcionamiento de la polarización lineal y cruzada, en las estaciones remotas conectadas al Satélite Simón Bolívar (VENESAT-1).
- Identificar los parámetros de salida en el analizador de espectro.
- Determinar el equipamiento necesario a emplear y para la interconexión con la PC.
- Determinar la herramienta de análisis de señales, requerida para la implementación del modelo que permita lograr el alcance en cuanto a la polarización cruzada.
- Diseñar el modelo operativo para apoyo en el comisionamiento de antenas y en referencia a la polarización cruzada.
- Definir patrones o máscaras preestablecidas.
- Verificar el funcionamiento del modelo a implementar vía red de gestión CANTV.
- Elaboración de documento técnico para la aplicación del modelo operativo.

I.4. Limitaciones.

- Disponibilidad para el uso de los equipos requeridos en la realización del trabajo especial de grado. Los equipos como el analizador de espectros o alguna estación remota de prueba, requeridos para la realización del proyecto están en constante uso para el comisionamiento, revisión o pruebas de estaciones remotas por el personal encargado.
- Disponibilidad del personal experto en el área satelital de CANTV para consultas, reuniones, pruebas entre otros.
- Condiciones climáticas para la captura de máscaras. Es necesario tener un cielo despejado para lograr obtener la mejor muestra posible durante la captura de máscaras necesarias para la interfaz gráfica creada en el presente proyecto.

I.5. Alcances.

- El modelo desarrollado para este trabajo especial de grado se realizó con el uso del software matemático MATLAB para la creación de una interfaz gráfica de usuario (GUI) y análisis de las señales recibidas del Satélite Simón Bolívar, por medio de la comunicación con el analizador de espectros modelo Agilent N9010A EXA. Utilizando el módulo de MATLAB “Instrument Control ToolBox” mediante el protocolo TCP/IP. Por lo tanto las acciones y diseño de la interfaz gráfica están bajo las condiciones que MATLAB y la caja de herramientas que puede ofrecer.
- El presente desarrollo e implementación está enmarcado en la empresa de Telecomunicaciones CANTV y contempla la implementación de un modelo para la medición de discriminación en la polarización cruzada desde el telepuerto de Camatagua, con la posibilidad de ser replicado al

resto de los telepuertos a nivel nacional. También, el alcance está relacionado a las antenas remotas conectadas al satélite Simón Bolívar instaladas y operadas por CANTV con la posibilidad de acceder al modelo a través de la red de gestión propia de CANTV.

- Este trabajo especial de grado incluye un proceso de investigación documental relacionada con la polarización lineal, aspecto importante para el comisionamiento de las estaciones remotas pertenecientes a CANTV conectadas al Satélite Simón Bolívar.
- Este trabajo especial de grado sólo incluye el estudio de estaciones remotas pertenecientes a la red Satelital de CANTV con el uso del Satélite Simón Bolívar, para los servicios de Internet y TV Satelital.
- Este trabajo especial de grado incluye, el diseño de una herramienta de medición para obtener los parámetros satelitales de los cuales se destacan la polarización horizontal y vertical, de forma gráfica y no interactiva.

I.6. Justificación.

Actualmente el personal de CANTV ubicado en los telepuertos de Camatagua y Bamari, encargados del comisionamiento de antenas remotas enlazadas al Satélite Simón Bolívar requiere actualmente de la utilización de al menos dos (2) analizadores de espectro para poder medir el parámetro de polarización cruzada. Siempre que es necesario el comisionamiento o revisión de una antena remota se requiere el uso de ambos analizadores, lo que implica un consumo de recursos extra y un desaprovechamiento en la cantidad de analizadores de espectro con los que cuenta CANTV, así como no existe un almacenamiento de estos parámetros por antena. Dado esto, actualmente CANTV está limitado a solo poder instalar o revisar un máximo de 6 antenas remotas por día.

Actualmente CANTV requiere hacer un despliegue masivo de antenas remotas por todo el país, por esto requieren de alternativas que le permitan agilizar el proceso, implementando un nuevo modelo que garantice la medición del parámetro de polarización cruzada de forma eficiente y rápida durante el comisionamiento o revisión de antenas remotas enlazadas al Satélite Simón Bolívar; un modelo donde la rapidez, tiempo de respuesta a fallas y funcionalidad, permitan instalar o hacer el comisionamiento de una mayor cantidad de antenas remotas por día de trabajo.

El trabajo especial de grado desarrollado con CANTV representa una excelente oportunidad para implementar este nuevo modelo de mejora en cuanto a la medición del parámetro de polarización cruzada para el comisionamiento y revisión de antenas remotas enlazadas al Satélite Simón Bolívar. El modelo planteado hace posible el uso de un solo analizador de espectro para cada medición, ahorrando recursos y permitiendo, hacer varias mediciones al mismo tiempo con los analizadores restantes.

Capítulo II: Marco Referencial

El presente capítulo tiene por objetivo presentar una revisión de los conceptos, teorías y otros conocimientos que sirven de base para facilitar la comprensión de este trabajo especial de grado. Contiene información desde un satélite de comunicación pasando por el Satélite Simón Bolívar, los enlaces satelitales, las estaciones terrenas, la polarización y finalmente hasta las herramientas utilizadas para el desarrollo del modelo.

II.1. Los satélites de comunicación.

Rosado (2010), afirma:

Los satélites de comunicación pueden recibir y enviar desde el espacio ondas de radio en cualquier dirección que se tenga previsto en su diseño. Normalmente lo hacen desde y hacia grandes áreas de la Tierra, y en algunos casos también de y hacia otros satélites. El hecho de poder emitir desde un satélite de comunicación una señal que pueda recibirse con intensidad similar y simultáneamente en cualquier punto de una gran superficie geográfica es su característica más notable, y es la causa principal de su utilización, debido a sus implicaciones. La posibilidad de recibir señales emitidas por estaciones ubicadas en cualquier punto de una gran superficie de la Tierra es casi tan importante como la característica anterior, siendo indispensable para aprovechar los satélites para servicios de comunicación bidireccional en toda su área de cobertura, es decir, para los que implican el diálogo entre los puntos extremos de la comunicación, como el servicio telefónico o un servicio interactivo de comunicación de datos. (pág. 2).

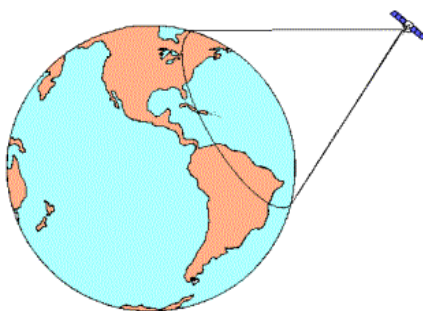


Figura 1. Ejemplo, satélite de gran cobertura o huella para el norte del océano Atlántico.

Fuente: (Kalipedia, 2009)

Un solo satélite puede emplearse para cubrir una superficie un poco mayor que un tercio de la superficie de la Tierra, o para cubrir un solo país, y al mismo tiempo contar con haces adicionales que cubran con mayor densidad de potencia una porción de un país o una región específica.

La órbita ecuatorial llamada geoestacionaria representa un círculo virtual, cerca de 36.000 kilómetros sobre la superficie terrestre, en el cual es posible ubicar satélites que giren en sincronía con la rotación de la Tierra. Debido a que existen perturbaciones que tienden a desplazar lentamente a los satélites de sus posiciones fijas en dicha órbita, para lograr que permanezcan en ellas se emplean fuerzas de corrección de pequeña magnitud, aplicadas en determinados intervalos de tiempo. (Rosado, 2010)

En la Figura 1, en toda el área que representa la huella del satélite se podrán comunicarse entre sí estaciones ubicadas en cualquier lugar de ella, comúnmente se les llama estaciones terrenas.

Rosado (2010), asegura:

La principal ventaja de un satélite geoestacionaria consiste en que dentro de su zona de cobertura se puede comunicar con estaciones terrenas de

apuntamiento fijo, las cuales cuentan con haces muy concentrados, para aumentar extraordinariamente tanto la potencia recibida de las señales del satélite, como la que es posible enviar. Se puede utilizar entonces un mínimo de energía radiada para una alta calidad de comunicación. (pág.3).

II.2. El Satélite Simón Bolívar (VENESAT-1).

El Satélite Simón Bolívar o VENESAT-1, es el primer satélite artificial propiedad del estado venezolano, fue lanzado desde el Centro espacial de Xichang en China el 29 de octubre de 2008. Actualmente se encuentra administrado por el Ministerio del Poder Popular para la Ciencia y Tecnología a través de la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE). Se encuentra ubicado a una altura de 35.784,04 Km de la superficie de la Tierra en una órbita geoestacionaria.

El estudio de la Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología en el Estado Carabobo (FUNDACITE, 2008), mostró que el sistema satelital para el VENESAT-1 está conformado por 28 transpondedores y es controlado por dos estaciones terrenas de control y un telepuerto (Figura 2). Su peso se acerca a los seis mil kilogramos; cuenta con dimensiones de 3.6 metros de altura, 2.6 metros en su lado superior y 2.1 metros en su lado inferior, además sus paneles solares miden cada uno 15.50 metros. Los servicios que ofrece, en líneas generales son TV, radio, telefonía e Internet en las bandas C, Ku y Ka. La Comisión Nacional de Telecomunicaciones de Venezuela (CONATEL) es el administrador de la capacidad de servicios tecnológicos y CANTV es el operador de servicios.

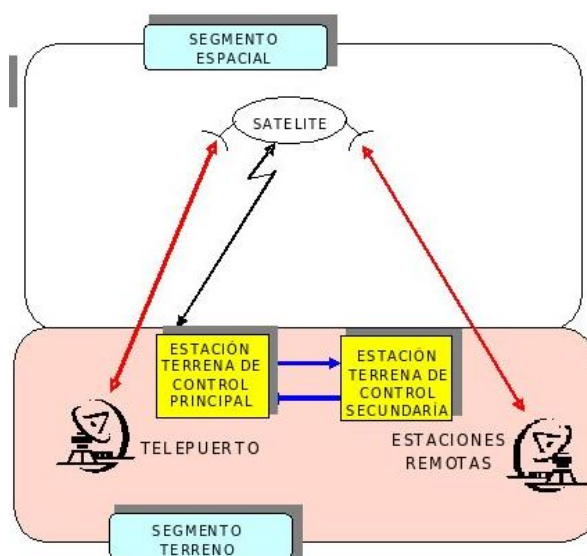


Figura 2. Representa el sistema satelital para el satélite Simón Bolívar.

Fuente: (FUNDACITE, 2008).

FUNDACITE (2008), asegura que las partes que conforman el Satélite Simón Bolívar (Figura 3) son:

1. **Paneles Solares:** Los cuales convierten la energía solar en energía eléctrica.
2. **Plataforma y Carga Útil:** Provee todas las funciones necesarias de mantenimiento para realizar la misión espacial es decir los subsistemas que manejan: potencia eléctrica, telemetría y telecomando, control de posición y orbita, manejo de datos de abord, propulsión y control térmico. La carga útil de un satélite de telecomunicaciones es el sistema a bordo del satélite el cual provee el enlace para la recepción, amplificación y transmisión de las señales de radiofrecuencia.
3. **Antena Este Ku:** Es una antena de forma elipsoidal (Gregoriana) de 3 x 2,2 m con un mecanismo de despliegue, emite un haz que cubre los siguientes países: Venezuela, Cuba, República Dominicana. (Figura 4).

4. **Antena Oeste Ku:** Es una antena de forma elipsoidal (Gregoriana) de 2,8 x 2 m con un mecanismo de despliegue, emite un haz que cubre en dirección sur los siguientes países: Bolivia, Paraguay y Uruguay. (Figura 4).
5. **Antena C:** Es una antena de rejilla doble excéntrica de 1,6 m de diámetro, emite un haz que cubre Venezuela, Cuba, República Dominicana, Haití, Jamaica, Centroamérica sin México, toda Sudamérica sin los extremos sur de Chile y Argentina. (Figura 4).
6. **Soporte para la antena de Telemetría y Telecomando:** Es la estructura de apoyo de la antena C, sobre la cual están ensambladas los alimentadores de comunicación de la antena C y las antenas de Telemetría y Telecomando.
7. **Antena Ka:** Es una antena forma elipsoidal (Gregoriana) de 1 m de diámetro, Su cobertura es exclusivamente para Venezuela. (Figura 4).

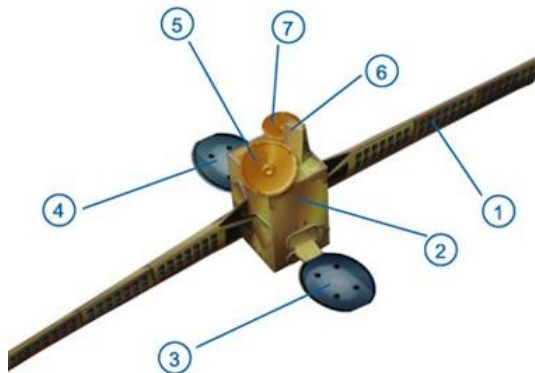


Figura 3. Esquema de las partes del satélite Simón Bolívar.

Fuente: (FUNDACITE, 2008).

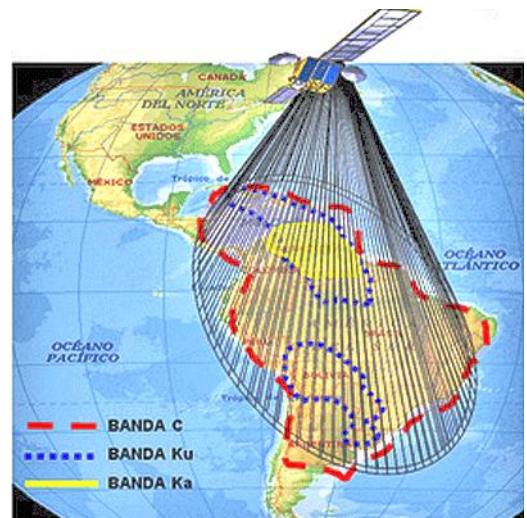


Figura 4. Huella de cobertura de las bandas del satélite Simón Bolívar.

Fuente: (ABAE, 2009).

II.3. Enlace Satelital.

Un enlace por satélite entre las estaciones terrenas y los satélites, está constituido por radiaciones electromagnéticas, dirigidas en haces de mayor o menor

concentración, similares a los enlaces entre estaciones ubicadas sobre la superficie terrestre, y en muchos casos en las mismas bandas de frecuencias, atribuidas en forma compartida. (Rosado, 2010, pág. 73).

Para lograr que los enlaces por satélite cumplan con los requisitos de una determinada red de comunicación deben considerarse las características del equipo para las estaciones terrenas y los transpondedores que forman parte de la misma, las del medio de propagación, y los efectos de radiaciones no deseadas de origen externo. En forma más precisa, el diseño de los enlaces en las estaciones terrenas con los satélites depende de diversos factores, como la distancia del satélite a la zona de servicio, el ruido interno y externo, la absorción de la radiación en la atmósfera, **la polarización**, las interferencias y el margen requerido para conservar la operación ante variaciones causadas por perturbaciones atmosféricas. (Rosado, 2010)

II.3.1.Estación Terrena.

Es un equipo de comunicación con una antena o un conjunto de equipos con antenas, hacia uno o más satélites. En cada una se realiza una parte importante del proceso para hacer posible y eficiente la transmisión y recepción de las señales, es vital para el proceso de convertir las radiaciones recibidas en una réplica fiel de las señales, en la forma que tenían antes de que fueran procesadas y transmitidas por otra estación terrena. (Rosado, 2010).

Algunos tipos de estaciones terrenas sólo tienen capacidad de transmitir o de recibir y pueden ser el punto de origen de las señales, o el de destino de una transmisión. El concepto de estación terrena incluye a las que están fijas sobre la superficie terrestre o a las móviles terrestres (marítimas, aeronáuticas, vehículos y portátiles personales).

Según Rosado (2010), las partes más importantes de una estación terrena varían según el uso que esta pueda tener, pero generalmente son:

- **El sistema de antena:** Normalmente la misma antena sirve para transmisión y recepción. Este sistema incluye el alimentador primario, el reflector, un arreglo duplex para la conexión de receptores y transmisores a la misma antena, y un arreglo separado de alimentadores, controles y mecanismos para el seguimiento automático.(pág.202).
- **Los transmisores y receptores:** Durante este proceso las señales son amplificadas o reducidas, mediante amplificadores o reductores de potencia, asimismo pueden ser moduladas o demoduladas según sea el caso. Dependiendo de la potencia con la que sea transmitida la señal, factores como el número de canales, el ancho de banda y sobre todo la ganancia de la antena, se verán afectados y por consiguiente se vera afectada la recepción de la señal.(pág.202).
- **Los moduladores y demoduladores:** Esta etapa modula las señales por transmitir y demodula las recibidas, lo cual implica la conversión de banda de base a frecuencia intermedia y el proceso inverso. En estaciones que tienen capacidad para transmitir y recibir cada modulador puede estar separado o encontrarse en la misma unidad, constituyendo un módem. (pág.203).
- **Los procesadores en banda de base:** Realizan las funciones de multiplexar y demultiplexar. En las estaciones pequeñas es probable que realicen otras funciones como la conversión de señales analógicas a digitales y viceversa, y la codificación y decodificación de canal. (pág.203).
- **La interfaz con redes terrenales:** Permite comunicar su extremo de frecuencias más bajas con diversos puntos, y normalmente se encuentran operando hacia el exterior por medio de fibras ópticas, líneas físicas metálicas o radioenlaces. (pág.203).

- **El sistema de energía y la infraestructura general:** El sistema de energía, según la importancia de los servicios que presta, debe operar en forma ininterrumpida y dentro de los valores estándar tolerados por un sistema de telecomunicaciones. (pág.203).
- **El sistema de supervisión, control y comunicación del servicio:** Los equipos que permiten la vigilancia y control de la operación de una estación compleja incluyen las alarmas visuales y audibles, controles para conmutar equipos y otros controles generales de los subsistemas. (pág.204).

II.3.1.1. VSAT.

El despliegue de antenas para estaciones terrenas por parte de CANTV se caracteriza por la distribución de antenas del tipo VSAT (Very Small Aperture Terminal), las redes VSAT son generalmente diseñadas acorde con una arquitectura tipo estrella, en donde la estación terrena central es llamada “HUB” y está conectada con un largo número de estaciones VSAT, denominadas estaciones remotas, dispersas por toda la región de cobertura del satélite. El “HUB” está conectado vía terrestre a la red con los servicios a ser distribuidos al resto de las VSAT. (ITU, 2002)

El despliegue de redes VSAT desde su creación en los años 80 fue un verdadero éxito en el mercado, por su bajo costo para establecer conexiones satelitales de múltiples usuarios a una red manejada generalmente por un “HUB”. Una estación terrena VSAT por lo general está equipada con una antena pequeña de diámetro no mayor de 5 metros, igualmente dependiendo de la red y de la ubicación que tendrá la VSAT en la región de cobertura, el diámetro puede variar desde 60 centímetros hasta no más de 5 metros. (ITU, 2002)

II.3.2.Sistema de antena.

El sistema de antena es de gran importancia para el diseño de una estación grande, mediana o pequeña en capacidad y complejidad, debido a que no puede modificarse y es muy costosa su sustitución.

El principal objetivo de diseño de las antenas para dirigir la potencia en forma de un haz estrecho, consiste en lograr suficiente ganancia de transmisión y recepción con la menor dimensión posible, bajo efecto de interferencia con otros sistemas en transmisión, baja captación de interferencia en recepción, la menor captación de ruido térmico por radiación del suelo, emisión y recepción con gran pureza de polarización, mínima deformación del reflector por cambios de temperatura, movimientos de orientación de la antena y resistencia al viento. (Rosado, 2010).

Según Rosado (2010), los parámetros principales que comprenden el sistema de antena son:

- **La ganancia y la eficiencia:** Donde una antena orientada hacia un satélite recibe la potencia de éste en una abertura efectiva o equivalente, la cual debe ser menor a su área de interceptación. (pág.205).
- **La Directividad:** Define la capacidad de concentrar la energía de una antena en una dirección particular. En este parámetro solo importa que tan bien se forma el haz en el espacio, en lugar de las pérdidas que este puede presentar. (pág.208)
- **La Temperatura de Ruido:** Es uno de los parámetros principales, por ser un elemento indispensable para el cálculo de los enlaces. (pág.211).

Durante la configuración de una antena la forma principal para lograr alta ganancia en la mayoría de las antenas consiste en usar uno o más reflectores, cuyas superficies deben tener alta precisión geométrica, y ser eléctricamente conductoras para poder re-radiar la energía que reciben del satélite. El objetivo específico del uso

de reflectores es convertir las ondas de frente esférico en ondas de frente casi plano que concentren la energía en una única dirección. (Figura 5) (Rosado, 2010).

Los principales tipos de antenas para estación terrenas con un solo reflector son las de alimentación frontal y las de alimentador descentrado, ambas parabólicas. En antenas que utilizan reflectores múltiples, las más usadas son las del diseño “Cassegrain”, ya sea centradas o descentradas. (Rosado, 2010).

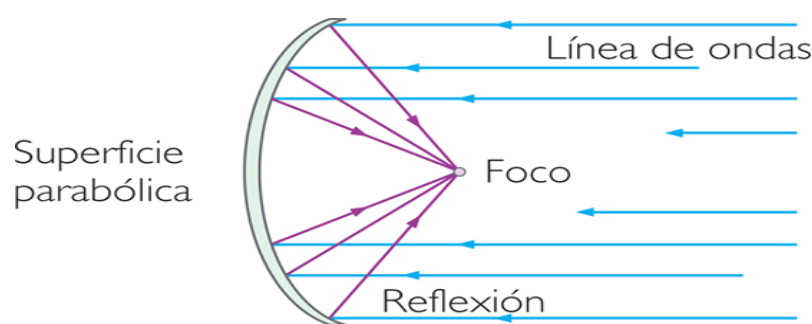


Figura 5. Antena con reflector parabólico único y alimentación frontal.

Fuente: (Kalipedia, 2009).

Para lograr que los enlaces por satélite cumplan con los requisitos de una determinada red de comunicación deben considerarse las características del equipo para las estaciones terrenas, los transpondedores que forman parte de la misma, las del medio de propagación y los efectos de radiaciones no deseadas de origen externo. En forma más precisa, el diseño de los enlaces en las estaciones terrenas con los satélites depende de diversos factores, como la distancia del satélite a la zona de servicio, el ruido interno y externo, la absorción de la radiación en la atmósfera, las interferencias, el margen para conservar la operación ante variaciones causadas por perturbaciones atmosféricas y finalmente **la polarización**. (ITU, 2002)

II.4. La polarización.

Según el diccionario de la Real Academia Española la polarización es la acción y efecto de polarizar o polarizarse. Donde polarizar está referido a suministrar una tensión fija a alguna parte de un aparato electrónico y también a orientar en dos direcciones contrapuestas.

Según la investigación de Universidad Politécnica de Valencia (2000), la polarización de una antena corresponde a la dirección del campo eléctrico emitido por una antena (Figura 6). Esta puede ser:

- Lineal: Vertical u Horizontal.
- Elíptica o Circular: Hacia la derecha o hacia la izquierda.

Con esto se dice que, la polarización de las ondas radiadas o recibidas por una estación terrena corresponde a la orientación de su vector campo eléctrico, que siempre será perpendicular a la dirección de propagación, el cual esta oscilando según la frecuencia de la onda radiada y puede conservar su orientación o girar alrededor de un eje de propagación a su velocidad angular.

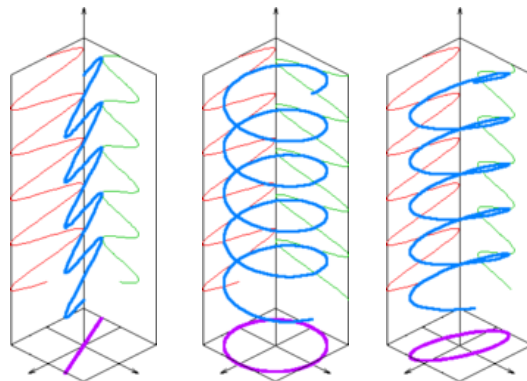


Figura 6. Ejemplo de la trayectoria en vector campo eléctrico en polarización vertical, circular y elíptica respectivamente.

Fuente: (Wikipedia, 2011).

II.4.1. Tipos de polarización

Luzón (2007), describe los 2 tipos de polarización de la siguiente forma:

- **Lineal:** En donde la vibración se mantiene fija respecto a una línea fija en el espacio. Visto desde un plano cartesiano, una onda que se propaga en dirección “X” está polarizada linealmente en dirección “Y”.
- **Circular o Elíptica:** En donde el vector campo eléctrico va cambiando en el tiempo describiendo elipses o circunferencias. Visto desde un plano cartesiano una onda polarizada circularmente que se propaga en dirección “X”. El campo eléctrico es una superposición de un campo vibrando en dirección “Y” y otro en dirección “Z”.

En teoría si una antena trabaja con polarización lineal vertical, sólo puede transmitir y recibir ondas verticalmente polarizadas. Al mismo tiempo, cuando la misma antena no puede recibir una onda polarizada horizontalmente se dice que la antena no es capaz de trabajar con ondas de polarización cruzada. (Bolós, Fuentes, Belda, & Fernández, 2000)

Esto mismo se aplica al resto de las polarizaciones. Una antena que use polarización circular hacia la derecha no podrá recibir una onda polarizada circularmente hacia la izquierda. En caso de que en la comunicación no se utilice la misma polarización, la señal sufrirá una pérdida de potencia significativa.

Particularmente, el satélite Simón Bolívar trabaja con polarización lineal, bien sea de manera horizontal o vertical. Un radioenlace entre el satélite y la estación terrena, cuando la polarización lineal es usada por ambas partes, estas son descritas por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 2001), como:

- **Semejante:** La señal transmitida y recibida por el sensor tienen la misma polarización (Horizontal-Horizontal, Vertical-Vertical)
- **Cruzada:** Varía la señal transmitida con la recibida (Horizontal-Vertical o Vertical-Horizontal)

II.4.2.La polarización cruzada.

Como se menciona anteriormente la polarización cruzada es cuando la señal transmitida entre el satélite y la estación terrena es transmitida o recibida en una misma polarización pero con diferente orientación. Por ejemplo en el caso de una polarización lineal, con polarización cruzada se utiliza una señal polarizada verticalmente y horizontalmente ambas en la misma frecuencia pero sin interferirse entre sí. Según el CIAT (2001), en la polarización cruzada se requiere de múltiples interacciones con el receptor o transmisor y por lo tanto la señal es más débil en comparación a la polarización semejante.

Una comunicación satelital constituye un uso de ancho de banda con mucho tráfico. Las fuentes primarias de energía en el satélite pueden suplir a un largo número de transpondedores pero estos disponen de un total de 500 MHz de ancho de banda, donde el ancho de banda para cada repetidor está entre 40 a 80 MHz, por esto se ha vuelto una práctica muy común la reutilización de frecuencias por medio de la polarización cruzada, logrando así un significativo incremento del ancho de banda efectivo total.(ITU, 2002, pág. 48)

Uno de los métodos comunes para la reutilización de frecuencias se logra gracias a la polarización cruzada, en donde señales diferentes en una misma frecuencia serán transmitidas desde el satélite por diferentes antenas que dan cobertura a un área en común utilizando dos (2) polarizaciones totalmente ortogonales entre sí. Estas polarizaciones pueden ser lineales (Horizontal y Vertical) o circulares (dirección derecha y dirección izquierda). En el satélite es posible también utilizar una misma antena que transmita en ambas polarizaciones o bien es posible el uso de dos (2) antenas diferentes. En la estación terrena, siempre será una antena común equipada con un transmisor y receptor que podrá trabajar con ambas polarizaciones, en donde el valor típico de discriminación entre ambas polarizaciones está entre 30 y 35 dB. (ITU, 2002, pág. 126)

El uso de la polarización cruzada como técnica para la reutilización de frecuencias, utilizando polarización lineal o circular, se puede ver afectado por la ruta de propagación a través de la atmosfera terrestre, resultando esto en interferencia entre ambas polarizaciones ortogonales. Este fenómeno, se conoce como despolarización o Cross-Polarización. Esto es inducido por dos fuentes conocidas como el efecto Faraday, causado por el magnetismo de la tierra en la ionósfera y las precipitaciones en forma de lluvia o nieve. (ITU, 2002)

Las lluvias que inducen a la despolarización son debido a gotas de lluvia de forma no esféricas, las cuales producen una atenuación diferente y un cambio de fase entre las componentes ortogonales de la señal, las cuales degradan la discriminación que debe existir entre ambas polarizaciones. Diferentes modelos de propagación han sido desarrollados para predecir el deterioro que causa la despolarización debido a la lluvia y otros efectos meteorológicos. En regiones con alto índice de lluvias como Centro América y las zonas tropicales del mundo, la polarización cruzada para la reutilización de frecuencias puede presentar severos problemas en su implementación. En el caso de Venezuela las regiones con altos índices de lluvia son las zonas ubicadas al sur del país como los estados Amazonas, Apure y el sur del estado Bolívar.

Coronado A. y Moumtadi F (2006), aseguran:

Con el uso de polarización cruzada se puede aumentar la cantidad de información que se puede obtener en un radioenlace, gracias a que es posible combinar múltiple polarización para los distintos rangos de longitudes de ondas con el fin de incrementar el contenido de información procesada. Así el sistema podría, por ejemplo, usar una polarización para transmitir y otra para recibir (totalmente ortogonales), pero con esto el aislamiento de la antena aumenta de forma considerable. Esto se utiliza como método para obtener el re-uso de frecuencia dentro de una misma banda de frecuencias.

Para la aplicación de la polarización cruzada como método para la reutilización de frecuencias, es necesario que se cumplan algunos detalles tanto en el satélite como en las estaciones terrenas. Cada parte de la antena debe transmitir o recibir solo campos de radio frecuencia acorde con su propia polarización y debe estar aislada de otra polarización, esto se conoce como discriminación de la polarización o aislamiento de la polarización. Si esta discriminación es menor de 24 a 28 dB dependiendo de otras posibles fuentes de interferencias y incluyendo además posibles defectos en el satélite o la estación terrena, esto podría inducir a que una señal en la misma frecuencia podría aparecer de la polarización ortogonal también llamada X-polar, que causaría una interferencia dañina para las comunicaciones. (ITU, 2002)

En el Satélite Simón Bolívar se utiliza el método de polarización cruzada para obtener la reutilización de frecuencias y de este modo como se mencionó anteriormente, se logra duplicar la capacidad de información manejada por una banda de frecuencias del satélite.

II.4.2.1. Discriminación de la polarización cruzada

Coronado & Moumtadi (2006), señalaron como ya es conocido que un requerimiento fundamental para el uso de polarización cruzada, es mantener un buen nivel de aislamiento entre las dos polarizaciones de tal manera que la interferencia Co-Canal sea mínima.

Además señalan que la discriminación de polarización cruzada es generalmente máxima en el eje de la antena y se degrada para direcciones diferentes a aquella que corresponde a la dirección de máxima ganancia.

En un sistema de satélites con reutilización de frecuencia a través de polarización cruzada como el Simón Bolívar un parámetro importante en la

determinación de la calidad del sistema es la razón de discriminación de polarización cruzada entre las dos señales. Como se mencionó anteriormente a esto se le conoce como “Discriminación de la Polarización Cruzada” (XPD). El valor de XPD debe ser 30 dB a 35 dB dependiendo de lo establecido por el sistema de comunicaciones satelitales para polarizaciones lineales en sus estaciones terrenas.

Las ondas de radio frecuencia radiadas por una estación terrena cuentan con lo que se conoce como la componente de Co-Polarización (posición deseada) y la componente de Cross-Polarización o X-Polar (posición no deseada). Por consiguiente, la pureza de la polarización puede ser descrita por los diagramas de ganancia en la Cross-Polarización (Figura 7). En la Figura 7, se tiene una comparación de los diagramas en Co-Polarización y Cross-Polarización, con máxima ganancia en la antena como referencia. (ITU, 2002, p. 111)

El diagrama de la Figura 7, es una muestra puramente teórica porque en la práctica los diagramas son menos regulares y no tienen nulos, sólo mínimos. Es importante notar que generalmente el diagrama de Cross-Polarización es mínimo en el eje de la antena y muestra los primeros lóbulos con ganancias por el orden de los -20 dB.

La pureza en la polarización de la antena tanto para la transmisión como la recepción, esta generalmente definida por sus diagramas de Co-Polarización y Cross-Polarización. El aislamiento de la Cross-Polarización (XPI) es la proporción en una dirección dada de la Co-Polarización a la Cross-Polarización (X-Polar) de la amplitud en los campos de radio frecuencia. (ITU, 2002)

Suponiendo que la transmisión en la antena tiene una perfecta pureza en la polarización, al igual que el medio de propagación y ambas ondas de radio frecuencias son transmitidas con amplitudes iguales, se puede afirmar entonces que el aislamiento de Cross-Polarización en la antena receptora en el caso de un sistema que

utiliza polarización lineal como por ejemplo el satélite Simón Bolívar, según la ITU (2002) se puede definir como:

$$(XPI) = HORIZONTAL_{co} / VERTICAL_x$$

Los límites más rigurosos del "XPI" están generalmente especificados cerca del eje de la antena. Generalmente es evaluado en dB con la siguiente fórmula:

$$(XPI)_{dB} = 20 \times \log (XPI)$$

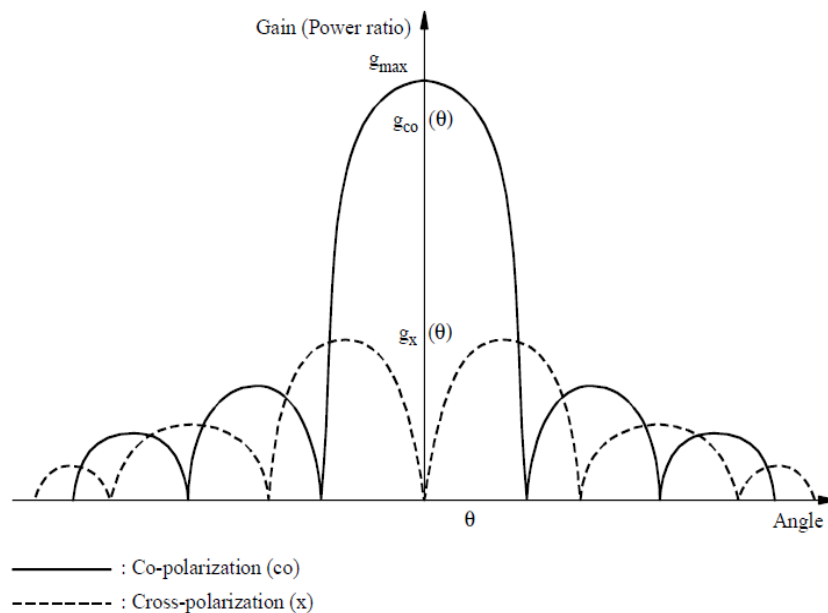


Figura 7. Diagramas teóricos de Co-Polarización y Cross-Polarización.

Fuente: (ITU, 2002)

La importancia en la pureza de la polarización para la antena viene del hecho que las emisiones no deseadas (X-Polar), pueden causar interferencia en otros sistemas y en la recepción, es decir, componentes no deseadas de otros sistemas podrían causar interferencias al sistema receptor. Pero inclusive, más importante son las propias interferencias que pueden ser causadas por ambas polarizaciones en sistemas con reutilización de frecuencias. (ITU, 2002).

En la Figura 8, se muestra en forma muy simplificada (sin la representación del segmento satelital), la transmisión y recepción en las estaciones terrenas. Se muestra el polarizador y una pieza importante llamado el transductor ortomodo (OMT).

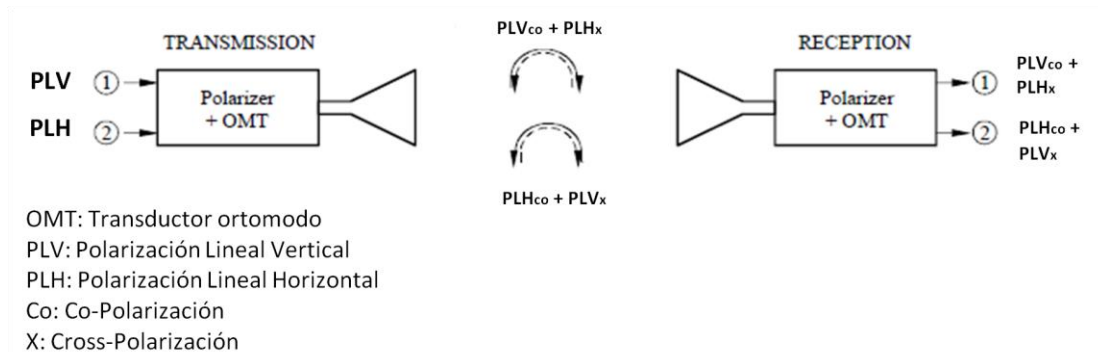


Figura 8. Trasmisión y recepción de un enlace RF con reutilización de frecuencias y presencia de Co-polarización y Cross-polarización.

Fuente: (ITU, 2002)

II.4.2.2. Transductor Ortomodo (OMT)

La función del OMT es hacer la interfaz con ambas polarizaciones ortogonales para la reutilización de frecuencias. Con esto como se muestra en la Figura 8 se conectan los 2 transmisores y receptores separados, así se forman dos (2) enlaces que tienen la capacidad para operar en la misma banda de frecuencias, donde no debería existir ningún acoplamiento entre ellos. De igual forma en la práctica, la pureza en la polarización es imperfecta y siempre existirá algo de Cross-Polarización (X-Polar). (ITU, 2002)

Cabe destacar que una situación real es mucho más compleja que lo que se muestra en la Figura 8. Las componentes X-Polar recibidas pueden ser debidas tanto a la antena emisora como por la receptora e incluso son posibles debido a algunos efectos de Cross-Polarización en el medio de propagación.

II.5. Herramientas requeridas en el proyecto.

II.5.1. Hardware.

A continuación se describirá el hardware utilizado y necesario para la realización de este proyecto. Todo lo necesario fue aportado por CANTV en los momentos que fue requerido.

II.5.1.1. El analizador de Espectros.

Un analizador de espectros es una herramienta con la capacidad de representar las componentes espectrales de una determinada señal presente en su entrada a partir de su transformada de Fourier. Esta representación en el dominio de la frecuencia, permite visualizar parámetros de la señal que muy difícilmente podrían ser visualizados trabajando en el dominio del tiempo con ayuda de un osciloscopio. (Instrumentación Electrónica, 2009).

Son especialmente útiles para medir la respuesta en frecuencia de equipos de telecomunicaciones como amplificadores, filtros, acopladores, entre otros y para comprobar el espectro radioeléctrico en una zona determinada con la ayuda de una antena. En la pantalla del equipo la amplitud o potencia de las señales se representa en el *eje* “y” y la frecuencia en el *eje* x. La medida de potencia viene indicada en dBm. (Instrumentación Electrónica, 2009)

Existe una gran variedad de analizadores de espectros en el mercado, de mayor o menor complejidad, pero según la pagina Web de Instrumentación Electrónica (2009), todos ellos cuentan de con las siguientes funciones y controles básicos:

- **Frecuencia:** Permite fijar la ventana de frecuencias a visualizar en la pantalla. Se puede definir la frecuencia inicial y final (START-STOP) o bien la frecuencia central junto con el SPAN o ancho de la ventana.

- **Amplitud:** Controla la representación en amplitud de la señal de entrada. Permite fijar el valor de la referencia, el número de dBm por cada división en la pantalla así como el valor de atenuación en la entrada.
- **Vista/Traza:** Gestiona parámetros de representación de la medida, entre los que destacan el almacenamiento de los valores máximos en cada frecuencia y el almacenamiento de una determinada medida para poder ser comparada posteriormente.
- **Filtro de resolución/Promedio:** El analizador de espectros captura la medida al desplazar un filtro de ancho de banda pequeño a lo largo de la ventana de frecuencias. Cuanto menor es el ancho de banda de este filtro mejor es la resolución de la medida y más tiempo tarda en realizarse.
- **Marcador/búsqueda de pico:** Controla la posición y función de los markers. Un marker o marcador indica el valor de potencia de la gráfica a una determinada frecuencia. La búsqueda de pico posiciona un marker de forma automática en el valor con mayor potencia dentro de nuestra ventana de representación.

Una característica general de un analizador de espectros, es que la señal de entrada es trasladada a una frecuencia intermedia más alta por un oscilador local interno, senoidal y sintonizable, a esta frecuencia se le llamara “FI”. Quiere decir que, a lo largo de cada barrido se desplaza el espectro de la señal en la entrada a la frecuencia “FI”, que es la frecuencia central de la banda de paso de un amplificador sintonizado a la frecuencia “FI”. En la salida del amplificador se mezcla con un oscilador. Luego esta información se filtra, con el uso de un filtro activo, y la salida es rectificada y amplificada por un circuito de medición. Con esto se logra que en la pantalla se muestre la potencia de salida de la señal asociada a un determinado rango de frecuencias. (Romero, 2008).

Cuando se habla de la resolución del analizador de espectros, esta viene definida por el ancho de banda del filtro de “FI”. El caso ideal sería que el ancho de banda fuese prácticamente cero para lograr obtener cada componente de frecuencia de la señal, pero esto es imposible en la práctica. Debido a esto, si la separación en frecuencia de dos señales es menor al ancho de banda del filtro “FI” en el analizador de espectros se mostraría en pantalla un único armónico de potencia representando la suma de las potencias de las dos señales. Por ello es importante poder reducir el ancho de banda del filtro “FI” lo que también tiene como ventaja la disminución de la potencia del ruido introducido. (Romero, 2008).

II.5.1.1.1 Agilent N9010A EXA.

El analizador de Espectros disponible es el AGILENT N9010A EXA (Figura 9), trabaja para el rango de frecuencias entre 9KHz a 26,5 GHz, el cual permite detectar las componentes de frecuencia de los sistemas de comunicación satelital desde la estación terrena de Camatagua, ubicada en el Edo. Aragua con el resto de las estaciones terrenas conectadas al Satélite Simón Bolívar.



Figura 9. Vista frontal y trasera del analizador de Espectros Agilent N9010A EXA.

Fuente: Agilent EXA Series Spectrum Analyzers.

II.5.1.2. Interfaz RJ-45.

Es una interfaz física comúnmente usada para conectar redes de cableado estructurado. La interfaz RJ-45 posee ocho pines o conexiones eléctricas, que normalmente se usan como extremos de cables de par trenzado.

Esta es utilizada comúnmente con estándares como TIA/EIA-568-B, que definen la disposición de los pines. Una aplicación común es su uso en cables de red Ethernet, donde suelen usarse 8 pines (4 pares), otras aplicaciones incluyen terminaciones de teléfonos con 4 pines (2 pares). (Wikipedia, 2011).

Wikipedia (2011) muestra que la a interfaz RJ-45 puede ser configurada de dos formas:

- **Directa** (Figura 10, Figura 11): Utilizada para conectar dispositivos desiguales, como un computador con un HUB o switch. En este caso ambos extremos del cable deben tener la misma distribución. No existe diferencia alguna en la conectividad entre la distribución 568B y la distribución 568A siempre y cuando en ambos extremos se use la misma, en caso contrario se conoce como un cable cruzado.

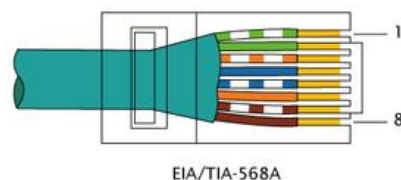
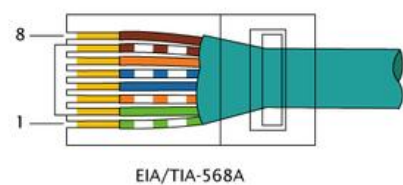


Figura 10. Cable directo 568A.

Fuente: (Wikipedia, 2011).

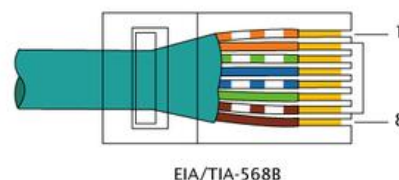
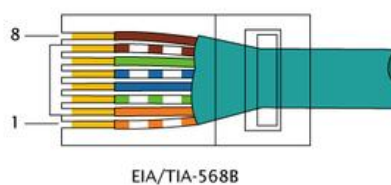


Figura 11. Cable directo 568B.

Fuente: (Wikipedia, 2011).

- **Cruzada** (Figura 12): En este caso el cable se interconecta con todas las señales de salida en un conector con las señales de entrada en el otro conector, y viceversa; permitiendo a dos dispositivos electrónicos conectarse entre sí con una comunicación full dúplex.

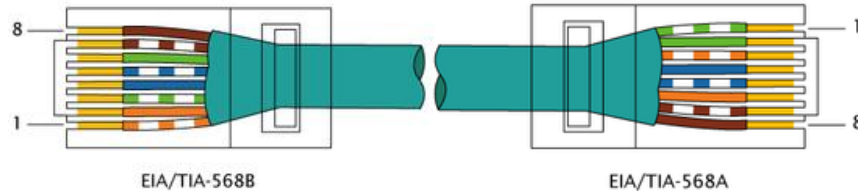


Figura 12. Cable cruzado 568A/568B.

Fuente: (Wikipedia, 2011)

II.5.2. Software Utilizado.

A continuación se describirá el software utilizado y necesario para la realización de este proyecto. El software utilizado es del tipo software propietario y los drivers utilizados para la comunicación con el equipo fueron desarrollados por los mismos fabricantes del instrumento.

López (2010), asegura:

La ventaja de estos programas es que se pueden emplear para conectar los instrumentos, y además proporcionan las funciones más comunes que uno puede desear ya hechas, sin necesidad de programar. Sin embargo la desventaja por tratarse de software privado, sólo puede ser usada para la tarea a la que fue diseñado.

II.5.2.1. MATLAB.

Es un software matemático de alto nivel para la visualización y análisis de datos, cálculos matemáticos y el desarrollo de algoritmos. Con la utilización de MATLAB puede resolver problemas de cómputo mucho más rápido que utilizando herramientas de programación tradicionales en lenguaje C, C++, Fortran, entre otros. (MathWorks, 2011).

El desarrollo del software MATLAB fue inicialmente creado por Cleve Moler a finales de 1970, surgiendo la primera versión con la idea de emplear paquetes de subrutinas escritas en Fortran en los cursos de álgebra lineal y análisis numérico de la Universidad de Nuevo México (Albuquerque, Nuevo México, Estados Unidos de América), sin necesidad de escribir programas en dicho lenguaje. Durante el año 1983 el ingeniero Jack Little reconoció el potencial comercial que podía tener el software y en conjunto con Cleve Moler y Steve Bangert reescribieron MATLAB en C y fundaron la compañía MathWorks en 1984. Hoy en día MathWorks son los desarrollados y dueños del software MATLAB cuya última versión en la actualidad es R2011b lanzada el 1 de septiembre del 2011. (Wikipedia, 2011)

Actualmente las últimas versiones de MATLAB permiten la fácil manipulación de matrices, la representación de datos numéricos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de una interfaz gráfica de usuario conocida como GUI y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. Las últimas versiones de MATLAB disponen de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, una de ellas Simulink que es una plataforma de simulación multidominio y GUIDE utilizada como editor de interfaz gráfica de usuario (GUI). Además MATLAB cuenta con la capacidad de ampliar su repertorio de capacidades con las cajas de herramientas (toolboxes) o las de Simulink con los paquetes de bloques (blocksets). (Wikipedia, 2011)

II.5.2.1.1 Instrument Control Toolbox en MATLAB.

Instrument Control Toolbox te permite conectar MATLAB directamente con instrumentos como osciloscopios, generador de funciones, analizadores de espectro, fuentes de poder u otros instrumentos de análisis. Esta caja de herramientas con el uso de los drivers del instrumento como IVI y VXIplug o basado en comandos de texto SCPI comúnmente usado en la comunicación de los protocolos como GPIB, VISA,

TCP/IP y UDP. Igualmente con esta caja de herramientas se puede adquirir data del equipo sin escribir código. (MathWorks, 2011).

Con la caja de herramientas Control Toolbox se pueden generar datos en MATLAB para ser enviados al instrumento, o para leer datos del instrumento y introducirlos en MATLAB para su análisis y visualización. Con la herramienta es posible automatizar pruebas, verificar medidas y construir sistemas basados en LXI (LAN eXtensions for Instrumentation), PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) o estándares AXIe (AdvancedTCA Extensions for Instrumentation and Test). Para la comunicación remota con otros computadores y dispositivos de MATLAB, la caja de herramientas provee soporte para TCP/IP, UDP, Bluetooth y protocolos serial. (MathWorks, 2011).

Capítulo III: Metodología

En el presente capítulo se exponen los aspectos referidos a la metodología empleada para el desarrollo de este proyecto, a su vez, se describen detalladamente los métodos, procedimientos y las actividades realizadas. El capítulo está constituido por el tipo de proyecto, tipo de estudio realizado, periodo y lugar donde se desarrolla, universo y muestra, las variables, los procedimientos y los métodos de recolección de la información utilizados, para el Diseño e implementación de un modelo para optimizar el proceso de polarización cruzada para las antenas remotas enlazadas al Satélite Simón Bolívar.

III.1. Tipo de Investigación.

Este trabajo especial de grado está enmarcado dentro del tipo denominado Proyecto Factible, el cual según la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL, 2010), consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales y además, puede referirse a formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. También establece que el proyecto debe tener apoyo de una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades.

Así mismo, según Balestrini (1997), la definición de proyecto factible es:

“Este tipo de prospectivos en el caso de las ciencias sociales, sustentadas en un modelo operativo de una unidad de acción, están orientados a proporcionar respuestas o soluciones a problemas planteados en una determinada realidad: organizacional, social, económica y educativa, etc. En este sentido, la delimitación de una propuesta final, pasa inicialmente por la realización de un diagnóstico de la situación existente y la determinación de las necesidades de

hechos estudiados, para formular el modelo operativo en función de la demanda de la realidad abordada”

En este sentido, el desarrollo del modelo para optimizar el proceso de polarización cruzada para las antenas remotas conectadas al Satélite Simón Bolívar, permite dar solución a los requerimientos actuales del grupo técnico de operaciones satelitales de CANTV, así como los requerimientos técnicos de Seguridad de la Operación y Servicios de CANTV durante el proceso de instalación y comisionamiento de antenas remotas enlazadas al Satélite Simón Bolívar.

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo siguiendo las etapas a considerar para este tipo de proyecto como lo señala la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL, 2010): Diagnóstico de la situación, planteamiento y fundamentación teórica del proyecto, procedimiento metodológico, actividades y recursos necesarios para su ejecución, y el análisis y conclusiones sobre realización.

III.2. Diseño de Investigación.

Mirian Balestrini (1997), define un diseño de investigación como: “El plan global de investigación que integra de un modo coherente y adecuadamente correcto, técnicas de recolección de datos a utilizar, análisis previstos y objetivos”. Es de destacar que existen diferentes tipos de diseño o modelos de diseño de investigación dependiendo del tipo de investigación que se esté tratando y del número de veces que se recolecten los datos. Estos se clasifican en diseños de campo y diseños bibliográficos.

En función de lo anterior, y atendiendo a los objetivos planteados y el tipo de proyecto, se hizo necesario definir el diseño de la investigación, el cual podría ser de campo o bibliográfico. Bajo el esquema de proyecto factible, la investigación de

campo fue vital para el desarrollo de este trabajo especial de grado, debido a que se adapta a los requerimientos del tipo de proyecto.

Mora (2006), define la investigación de campo como aquella en la que el mismo objeto de estudio sirve como fuente de información para el investigador, el cual recoge directamente los datos de las conductas observadas. La investigación de campo, Mora la divide en varias ramas, pero para este trabajo especial de grado fue utilizada la observación por entrevista. La cual define la observación por entrevista como el intercambio en forma oral entre dos personas, con la finalidad de obtener información, datos o hechos.

Así mismo, según Sabino (1992), una investigación de campo es aquella que se refiere a los modelos a emplear cuando los datos de interés se recogen en forma directa de la realidad, durante el trabajo concreto del investigador y sus equipos. Estos datos obtenidos directamente de la experiencia empírica, denominación que alude el hecho que son datos de primera, originales, productos de una investigación en curso, sin la intermediación de ninguna naturaleza.

Finalmente, de igual manera Balestrini (1997), también señala que la utilización de este tipo de investigación de campo permite recoger datos de interés de forma directa de la existencia mediante un tangible, a partir de la experiencia práctica adquirida, producto del aporte personal de la investigación en curso.

Dentro del diseño de investigación de campo según Balestrini (1997), es posible situar otra clasificación, los no experimentales y los experimentales. El diseño de investigación para el estudio objeto del presente trabajo especial de grado es un diseño no experimental, debido a que según Balestrini son estudios donde no hay manipulación de variables, las acciones de las variables se toman de la realidad y el investigador no interviene en ello, por lo tanto, este diseño se observa desde el punto de vista transaccional, ya que permite el nivel de profundizar las variables en un

único momento en el tiempo del tema investigado; así como a partir de datos que pueden ser obtenidos de otras fuentes disponibles.

Durante el desarrollo del proyecto la consulta en libros especializados en comunicaciones satelitales y algunas consultas electrónicas fueron vitales para poder ampliar y profundizar los conocimientos requeridos para el proyecto. Todos los conceptos, teorías y otros datos necesarios fueron compilados y adaptados para ser presentados en el marco teórico del trabajo especial de grado.

Las entrevistas para este trabajo especial de grado fueron realizadas para obtener información general de personas conocedoras del tema satelital, el comisionamiento de antenas remotas y la medición del parámetro de polarización cruzada, estas entrevistas fueron utilizadas con el fin de poder determinar o concretar el problema.

Además de la investigación bibliográfica necesaria para el desarrollo del proyecto, que requería el manejo de la información para una optima medición de los parámetros de polarización cruzada, dada su importancia para el aseguramiento del servicio indicado por el área de seguridad de la operación y servicios de CANTV, la realización de la investigación de campo fue sumamente valiosa para el proyecto, porque a fin de cuentas estos parámetros de polarización cruzada son medidos en el campo, por lo tanto, la investigación en campo, representaría el mejor método para recolectar datos, procedimientos y posibles fallas durante el comisionamiento de estaciones remotas pertenecientes a la red de CANTV.

III.3. Período y lugar donde se desarrolla la investigación.

Este trabajo especial de grado fue desarrollado desde el 4 de Abril del 2011 hasta el 3 de Febrero de 2012. Todas las reuniones con el personal especializado y pruebas del modelo se realizaron en las instalaciones del Centro Nacional de

Telecomunicaciones de CANTV ubicado en la Av. Libertador en la ciudad de Caracas y en el Telepuerto Satelital de CANTV ubicado en la ciudad de Camatagua, Edo. Aragua.

Durante el desarrollo de la herramienta de medición de señales, las pruebas iniciales fueron desarrolladas en los laboratorios de microondas de la Universidad Católica Andrés Bello en su sede de Caracas.

III.4. Universo y Muestra

Mora (2006), define el universo como “el grupo completo de particulares que el investigador desea estudiar y respecto a los cuales planea generalizar o inducir”. El universo es determinado exclusivamente para los fines de la investigación, en este trabajo especial de grado el universo lo conforman las antenas remotas pertenecientes a la red de CANTV enlazadas o que serán enlazadas al Satélite Simón Bolívar en cualquier parte del territorio nacional y que además cuenten con la capacidad de trabajar con polarización cruzada.

El software analizador de señales desarrollado en el proyecto requiere la utilización de máscaras preestablecidas, diferentes para cada zona del país. Estas máscaras fueron seleccionadas por el personal profesional en el área satelital de CANTV. Las muestras tomadas por el personal de CANTV, se basaron en muestreos no probabilísticos utilizando el método de muestreo discrecional, en el cual los autores Rodríguez y Preciado (2008), lo definen como un muestreo a criterio del investigador, donde los elementos son elegidos sobre lo que él cree que pueden aportar al estudio. En este caso el investigador fue el personal de CANTV.

Los muestreos no probabilísticos no sirven para realizar generalizaciones, pues no se tiene certeza de que la muestra extraída sea representativa, ya que no todos los sujetos de la población tienen la misma probabilidad de ser elegidos. En general

estas muestras se seleccionan siguiendo determinados criterios procurando, en la medida de lo posible, que la muestra sea representativa. (Rodríguez & Preciado, 2008).

III.5. Selección de las variables.

En esta sección en las siguientes tablas, se detallaran las normas y procedimientos que se siguieron en la investigación para medir las variables operacionales utilizadas en el software analizador de señales desarrollado en el proyecto:

Tabla 1. Variable: Ancho de ventana (Span).

| Variable: Span | |
|--------------------------------|---|
| Naturaleza | Cuantitativa. |
| Forma de medir | Directa. |
| Indicador | Ancho de Banda que se va a representar en la pantalla del analizador y la interfaz gráfica. |
| Expresión final de la variable | Hz. |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Variable: Frecuencia Central (Fc).

| Variable: Frecuencia Central (Fc) | |
|-----------------------------------|---|
| Naturaleza | Cuantitativa. |
| Forma de medir | Directa. |
| Indicadores | Valor de la frecuencia que se ubicará en el centro de la pantalla del analizador y la interfaz gráfica. |
| Expresión final de la variable | Hz. |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Variable: Frecuencia Pico (Fc).

| Variable: Frecuencia Pico (Fc) | |
|---------------------------------------|---|
| Naturaleza | Cuantitativa. |
| Forma de medir | Directa. |
| Indicadores | Valor de la frecuencia donde estará ubicado el pico detectado, en la pantalla del analizador y la interfaz gráfica. |
| Expresión final de la variable | Hz. |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Variable: Nivel de Referencia.

| Variable: Nivel de Referencia | |
|--------------------------------------|---|
| Naturaleza | Cuantitativa. |
| Forma de medir | Directa. |
| Indicadores | Indica el nivel de señal de la línea superior de pantalla del analizador y la interfaz gráfica. |
| Expresión final de la variable | dBm. |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Variable: Ancho de Banda.

| Variable: Ancho de Banda | |
|---------------------------------|---|
| Naturaleza | Cuantitativa. |
| Forma de medir | Indirecta. |
| Indicadores | Es la longitud del rango de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la potencia de la señal. |
| Procedimiento de medición | Es la diferencia entre el inicio y el final del rango de frecuencias detectado. |
| Expresión final de la variable | Hz. |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Variable: Potencia.

| Variable: Potencia | |
|--------------------------------|------------------------------|
| Naturaleza | Cuantitativa. |
| Forma de medir | Directa. |
| Indicadores | Potencia de la señal. |
| Escala de medición | Potencia Baja, Medio y Alta. |
| Expresión final de la variable | dBm. |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Variable: Escala/Div.

| Variable: Escala/Div | |
|--------------------------------|---|
| Naturaleza | Cuantitativa. |
| Forma de medir | Directa. |
| Indicadores | Valor de la escala vertical en unidades logarítmicas. |
| Expresión final de la variable | dB. |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Variable: Discriminación Polarización Cruzada (XPD).

| Variable: Discriminación Polarización Cruzada | |
|---|---|
| Naturaleza | Cuantitativa. |
| Forma de medir | Indirecta. |
| Indicadores | Nivel de aislamiento entre dos señales a una misma frecuencia pero con polarizaciones ortogonales. |
| Escala de medición | Baja, Media, Alta |
| Procedimiento de medición | Es el resultado de la diferencia algebraica entre la potencia de la Co-Polarización y Cross-Polarización. |
| Expresión final de la variable | dBm. |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Variable: Frecuencia Inicial y Final.

| Variable: Frecuencia Inicial y Final | |
|---|--|
| Naturaleza | Cuantitativa. |
| Forma de medir | Directa. |
| Indicadores | Valor de la frecuencia que se ubicara al inicio y final de la pantalla del analizador y la interfaz gráfica. |
| Expresión final de la variable | Hz. |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Variable: Resolución AB.

| Variable: Resolución AB | |
|--------------------------------|---|
| Naturaleza | Cuantitativa. |
| Forma de medir | Directa. |
| Indicadores | Determina el ancho de banda del filtro de FI (Frecuencia Intermedio). |
| Expresión final de la variable | Hz. |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Variable: AB de Video.

| Variable: Resolución AB | |
|--------------------------------|---|
| Naturaleza | Cuantitativa. |
| Forma de medir | Directa. |
| Indicadores | Suavizar o eliminar los picos de ruido. |
| Expresión final de la variable | Hz. |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Variable: Tiempo de Barrido.

| Variable: Tiempo de Barrido | |
|--------------------------------|--|
| Naturaleza | Cuantitativa. |
| Forma de medir | Directa. |
| Indicadores | Selecciona la velocidad a la que se barre el espectro por el analizador. |
| Expresión final de la variable | Segundos. |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Variable: Atenuación.

| Variable: Atenuación | |
|--------------------------------|--|
| Naturaleza | Cuantitativa. |
| Forma de medir | Directa. |
| Indicadores | Reduce el nivel de potencia de la señal a la entrada del analizador. |
| Expresión final de la variable | dB. |

Fuente: Elaboración propia.

III.6. Procedimientos.

En esta sección (Tabla 14), se describen las fases con las actividades realizadas durante la realización del trabajo especial de grado.

Tabla 14.Procedimientos utilizados durante la investigación.

| Fase | Actividades Realizadas |
|---|--|
| Recopilación de Información. | <ul style="list-style-type: none"> • Recopilación de teoría sobre los sistemas de comunicación satelital. • Estudio del parámetro de la polarización. • Estudio de los protocolos e interfaz que manejan los equipos. |
| Investigación en campo. | <ul style="list-style-type: none"> • Recopilación de información en trabajo de campo. |
| Selección de la interfaz y el software. | <ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar tipo de interfaz para la conexión. • Seleccionar el software programación adecuado para la herramienta. |
| Diseño de la aplicación. | <ul style="list-style-type: none"> • Diseño de la interfaz gráfica. • Programación de la interfaz gráfica. |
| Pruebas finales | <ul style="list-style-type: none"> • Realizar pruebas finales vía red de gestión CANTV. |
| Elaboración del documento técnico | <ul style="list-style-type: none"> • Redactar documento para el uso del software de medición de señales. |

Fuente: Elaboración propia.

III.7. Métodos de recolección de la información.

Los métodos de recolección de datos utilizados en el proyecto como se mencionaron anteriormente se basaron en recopilación documental de libros y fuentes electrónicas, así como de las entrevistas al personal encargado de CANTV.

Fidias Arias (2006), define los conceptos de técnicas e instrumentos de recolección de datos como, la técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información. Además, indica que un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.

Para este trabajo especial de grado; se definió tanto el problema, como las interrogantes planteadas y los objetivos. En relación con la recolección de datos, se emplearon las siguientes técnicas e instrumentos:

Técnicas Documentales:

- **Observación Documental:** Mediante esta técnica se procedió a realizar una lectura detallada y rigurosa de libros, tesis de grado, sitios de Internet y otros documentos escritos relacionados con el funcionamiento de los sistemas de comunicación satelitales, las estaciones remotas VSAT, los tipos de polarización y el uso de la polarización cruzada en los enlaces satelitales. Con la finalidad de extraer todos los datos bibliográficos útiles y que facilitaron la descripción, estudio, análisis e interpretación de la investigación objeto de estudio.

Técnicas de relaciones Individuales y Grupales:

- **Observación Simple o No Participante:** A partir de esta técnica se pudo conocer de primera mano y en el sitio, por los propios trabajadores, como se ejecutaba el comisionamiento de una estación remota desde la estación terrena

de Camatagua, así como identificar los procedimientos para la obtención de los parámetros de la polarización cruzada, y los equipos requeridos.

- **Entrevistas Informales:** Esta técnica permitió obtener respuestas verbales sobre interrogantes planteadas, para el desarrollo de la interfaz del modelo. Y se llevó a cabo a partir de conversaciones informales con el personal que labora en la estación terrena de Camatagua, en el estado Aragua.

Finalmente, el software analizador de señales desarrollado en el proyecto para su funcionamiento, requiere de la recolección de datos medidos directamente por el analizador de espectros. El siguiente esquema mostrado en la Figura 13, muestra en forma general como funciona esta adquisición de datos.

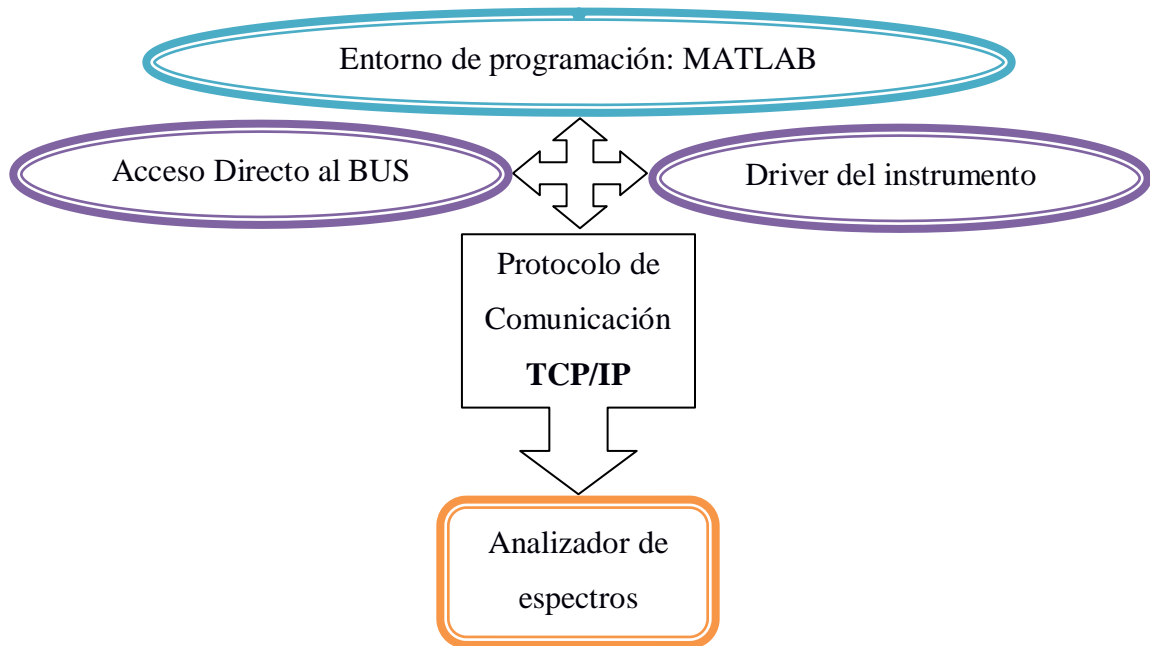


Figura 13.Funcionamiento general del software desarrollado para adquisición de información.

Capítulo IV: Desarrollo

En el presente capítulo se mencionan y explican cada una de las fases necesarias para el diseño e implementación de un modelo para optimizar el proceso de polarización cruzada para las antenas remotas enlazadas al Satélite Simón Bolívar, definiendo cada fase de acuerdo a la metodología presentada en el capítulo anterior.

IV.1. Fase 1: Recopilación de información.

La búsqueda y recopilación de información se basó principalmente en consultas bibliográficas en sitios de Internet y libros dedicados al tema. La recopilación de información comprendió la búsqueda y análisis sobre el funcionamiento de los sistemas de comunicación satelitales, el Satélite Simón Bolívar, las estaciones terrenas, los tipos de polarización y el uso de la polarización cruzada para los enlaces satelitales.

Durante esta fase se definieron las características y valores teóricos del parámetro de la polarización cruzada para el comisionamiento de las antenas remotas conectadas a un sistema satelital, con el fin de enfocar el diseño del software para el proyecto. Así como la necesidad de utilización de un equipo analizador de espectro.

Finalmente se identificó y confirmó la existencia de equipo Agilent N9010A EXA en las instalaciones de CANTV, Estación Terrena Camatagua, Edo. Aragua, necesario para el desarrollo del proyecto. Conocida esta información se realizó una búsqueda y recopilación de información sobre la interfaz y protocolos que puede utilizar el analizador y son necesarios para poder establecer una conexión entre el analizador de espectros y una computadora.

IV.2. Fase 2: Investigación en Campo.

La investigación en campo se basó en la recopilación de información principalmente mediante entrevistas en las instalaciones de CANTV en el Centro Nacional de Telecomunicaciones, ubicado en la Av. Libertador de Caracas y en las instalaciones ubicadas en Camatagua, Edo. Aragua, donde se encuentra una de las estaciones terrenas Satelital de CANTV.

En la ciudad de Caracas las entrevistas se realizaron con personal de CANTV especializado en el área satelital o en gestión de redes. El día 22 de julio de 2011 se entrevistó a el Ingeniero Marco Tulio, quien se desempeña en el Laboratorio de Planificación de Redes, quien nos aportó un conocimiento general de los servicios que presta y se tienen planeados por parte de CANTV con el Satélite Simón Bolívar, haciendo enfoque principalmente en los servicios que utilizaran enlaces satelitales con polarización cruzada.

En la ciudad de Camatagua, se encuentra una de las estaciones terrenas para la prestación de servicio de CANTV utilizada por el Satélite Simón Bolívar. En estas instalaciones, es donde se lleva a cabo el comisionamiento de antenas remotas a instalar en diferentes localidades, utilizando como soporte y validación el parámetro de polarización cruzada. Durante la primera visita se buscó identificar a plenitud las necesidades primordiales de CANTV en cuanto al comisionamiento de las antenas remotas y la polarización cruzada de elementos conectados al Satélite Simón Bolívar, en este caso Servicio de Internet Satelital, así como el método empleado para el comisionamiento de las antenas remotas y si se utilizan algunas máscaras o patrones durante las mediciones.

La primera visita a Camatagua se realizó el 14 de Septiembre del 2011, la visita fue atendida por la siguiente persona Sr. Eugenio Rincones. Durante el recorrido y la entrevista realizada al Sr. Eugenio Rincones se buscó determinar los pasos y las principales necesidades que eran requeridas por CANTV para el

comisionamiento de las antenas remotas con polarización cruzada. Esta primera visita estuvo principalmente dedicada a la recolección de información, para identificar la forma en que el personal de CANTV hace el comisionamiento de una antena remota con polarización cruzada al satélite Simón Bolívar. Además durante la visita se presencié una demostración real de todos los pasos que son requeridos para el comisionamiento. Finalmente el grupo de trabajo en el lugar informó cuales serían los elementos necesarios en el software a desarrollar para facilitar el trabajo a la hora de hacer despliegue de antenas remotas.

Una segunda visita a Camatagua se realizó el 7 de Diciembre del 2011, en esta oportunidad la visita fue atendida por el Ingeniero Eiber Montiel, especialista de enlace satelital en CANTV. Durante esta visita se mostró al personal operativo de CANTV una primera aproximación de lo que sería la interfaz gráfica final a utilizar según los datos aportados en la primera visita. De igual forma, personal operativo de CANTV facilitó los datos de configuración requeridos para la obtención de los parámetros de polarización cruzada en el analizador de espectro Agilent N9010A EXA. Asimismo se aprovechó el momento para determinar nuevos requerimientos que necesitaría la interfaz gráfica para facilitar su uso, entre ellos se sugirió agregar como complemento a la máscara de referencia ya existente, una línea de referencia que esté ubicada a la altura del nivel óptimo de potencia (fijado por CANTV) durante el comisionamiento o revisión de una estación remota.

IV.3. Fase 3: Selección del protocolo e interfaz.

Durante la fase uno, se realizó una recopilación de información sobre los protocolos e interfaz que puede manejar el analizador de espectro Agilent N9010A EXA. Este equipo cuenta con diferentes protocolos que pueden ser utilizadas para realizar una conexión entre el equipo y una computadora, entre ellas están: GPIB, TCP/IP, Serial y USB.

Para el presente trabajo especial de grado, la decisión de utilizar el protocolo TCP/IP para establecer la conexión con la computadora se basó en la flexibilidad y alto nivel de confiabilidad que ofrece este protocolo, así como su conectividad. No quiere decir que los otros protocolos no tengan un buen nivel de confiabilidad, pero la flexibilidad, velocidad y lo popular de este protocolo sobre el GPIB, Serial o USB.

Además el protocolo TCP/IP es ampliamente utilizado hoy en día, y las redes corporativas y de servicio en CANTV lo utilizan, lo que permite adaptarse a este proyecto. Una ventaja fundamental de utilizar este protocolo es conectar el analizador de espectros por esta vía a una red TCP/IP. Es decir, el analizador podría ser conectado directamente a la red de datos TCP/IP interna de CANTV y se podría dar acceso a él, desde cualquier punto de la red corporativa a nivel nacional; tal como es requerido por el personal de CANTV para el comisionamiento o revisión de antenas remotas, permitiendo esta actividad desde localidades remotas, sin tener que estar físicamente en sitio, estación terrena.

Seguidamente para continuar el desarrollo del trabajo especial de grado, en la investigación de la interfaz gráfica de programación compatible para programar la comunicación entre el analizador de espectros y la computadora, se encontraron varias disponibles a utilizar, entre ellas MATLAB, LabVIEW y Visual Basic. Sin embargo finalmente, entre ellas la decisión final fue la utilización de MATLAB.

La decisión de utilizar MATLAB como la interfaz gráfica de programación para este proyecto se basó en que esta es una herramienta ideal para la revisión y análisis de señales, así como para adquirir datos desde una interfaz externa y ser manipulados con mayor desempeño que otras aplicaciones como LabVIEW y Visual Basic. Además MATLAB es una herramienta ya conocida utilizada con anterioridad en otros proyectos académicos, a diferencia de Visual Basic. Una de las principales ventajas que tiene MATLAB, es su capacidad de poder crear una interfaz gráfica de usuario (GUI) totalmente programable y flexible para la adquisición y manipulación

de datos. Básicamente estos son los aspectos buscados en este proyecto, requerimiento del personal de CANTV. Además la programación de MATLAB es flexible y permite llamar funciones en otros lenguajes de programación como C, Fortran, Java, entre otros.

IV.4. Fase 4: Diseño de la aplicación.

En el proceso de diseño es donde se traducen los requisitos solicitados por el personal de CANTV para obtener una representación en una GUI de MATLAB. A continuación se describen los 3 pasos seguidos para cumplir con el desarrollo de la presente fase.

IV.4.1. Configuración MATLAB.

En el presente paso se alineó la herramienta de programación MATLAB para lograr la creación de la interfaz gráfica de usuario (GUI) compatible con los requerimientos de este proyecto.

Para ello, se creó una interfaz gráfica de usuario (GUI) utilizando MATLAB versión 7.6.0.0324 R2008a, seguidamente para lograr que MATLAB pudiera establecer conexión con el analizador de espectro fue necesaria la instalación de la caja de herramientas “Instrument Control Toolbox”. Como se explicó en el Capítulo II, esta caja de herramientas permite conectar MATLAB directamente con instrumentos para la adquisición de datos o el envío de instrucciones, por medio del protocolo que fue seleccionado anteriormente, siendo el protocolo TCP/IP.

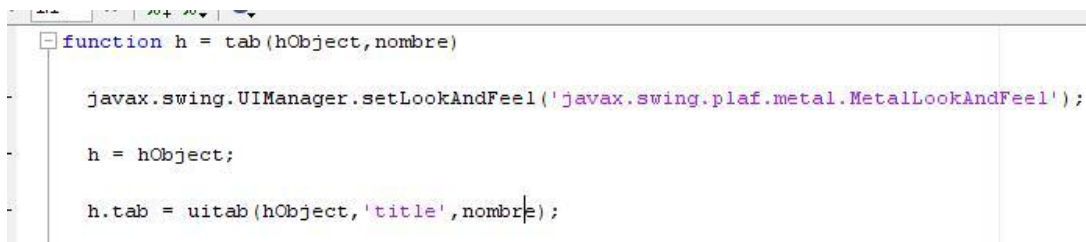
Para finalizar la configuración y empezar con la creación de la interfaz gráfica el “Instrument Control Toolbox” requiere la instalación de los controladores del instrumento con el cual se quiere hacer conexión. En el caso de este trabajo especial de grado los controladores del analizador Agilent N9010A EXA fueron descargados de manera gratuita desde la página oficial de Agilent Technologies y posteriormente

fueron instalados en la caja de herramientas “Instrument Control Toolbox” de MATLAB de manera satisfactoria.

IV.4.2. Creación de la interfaz gráfica.

Luego de culminada la fase de configuración de MATLAB, se procedió al diseño de la interfaz gráfica de usuario (GUI) en MATLAB. Es de conocimiento que una GUI en MATLAB consta de archivos .m que son los que contienen el código con la correspondencia de los botones de control de la interfaz y también contiene archivos .fig los cuales contienen los elementos gráficos, por lo tanto cada elemento de la interfaz gráfica, genera un archivo .m y .fig.

Durante la creación de la GUI fueron utilizados códigos en lenguaje de programación JAVA, como se muestra en la Figura 14, esto con el fin de lograr un diseño más llamativo y agradable a la vista del usuario que esté utilizando la interfaz gráfica.

A screenshot of the MATLAB code editor window. The code is written in a function named 'tab'. It includes a Java call to 'javax.swing.UIManager.setLookAndFeel' to set the look and feel to 'javax.swing.plaf.metal.MetalLookAndFeel'. It also assigns 'hObject' to 'h' and creates a 'uitab' object with a title and name.

```
function h = tab(hObject,nombre)

    javax.swing.UIManager.setLookAndFeel('javax.swing.plaf.metal.MetalLookAndFeel');

    h = hObject;

    h.tab = uitab(hObject,'title',nombre);
```

Figura 14. Ejemplo de programación con código JAVA en MATLAB.

En la presente fase, se definió el tamaño de la ventana para la interfaz gráfica de usuario y seguidamente se crearon y distribuyeron en todo el espacio disponible los botones, indicadores y los planos para la presentación de las muestras que serian necesarios para el uso de la herramienta, según los requerimientos solicitados por el personal de CANTV. Todo fue distribuido lo mejor posible para hacer un ambiente de trabajo agradable y de fácil uso.

Se agregaron dos planos para la representación de las muestras que son tomadas directamente del analizador. Un plano grande para la observación en vivo de lo que se muestra en la pantalla del analizador de espectro y donde se graficará igualmente la máscara seleccionada para hacer una comparación con la señal original. Además se agrego un plano secundario más pequeño donde se gráfica la última medición hecha, por ejemplo, la señal con polarización lineal vertical en el segundo plano y trabajar con la polarización lineal horizontal o viceversa en primer plano.

Se agregaron once indicadores, los cuales contienen información importante sobre la operación de la aplicación y mediciones hechas por el analizador. Estos se describen como: Dirección IP, Span, frecuencia central, frecuencia del pico, nivel de referencia, ancho de banda y potencia tanto para polarización vertical como para horizontal, discriminación de polarización cruzada y así como el estado.

Finalmente se agregaron ocho botones, los cuales cada uno tiene asignado una función específica para la operación de la aplicación o bien para la operación del analizador de espectro. Estos botones tienen los nombres de: Adquirir/Detener, guardar data, cargar masca, detectar pico, próximo pico hacia la izquierda o derecha, medir pico y conectar/desconectar.

IV.4.3. Programación de la interfaz gráfica.

Finalizada la creación de la interfaz gráfica se procedió a la programación de todos botones, indicadores y los planos para la presentación de las muestras contenidos dentro de la interfaz gráfica.

En la presente fase se utilizó el lenguaje de programación de MATLAB para programar y configurar las funciones de cada botón, indicador y los planos para la presentación de muestras. Los comandos para la comunicación con el analizador de espectros son en código SCPI (“Standard Commands for Programmable

Instruments”) enviados por el propio MATLAB a través de la caja de herramientas “Instrument Control Toolbox”, SCPI es un estándar diseñado específicamente para controlar instrumentos. En la Figura 15 se muestra un ejemplo de cómo MATLAB envía un comando en SCPI al analizador de espectros.

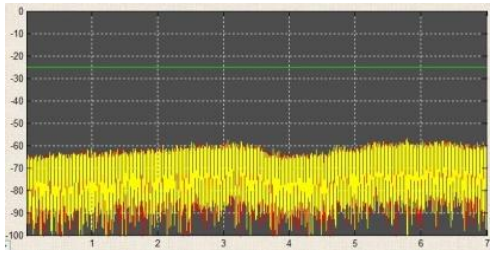
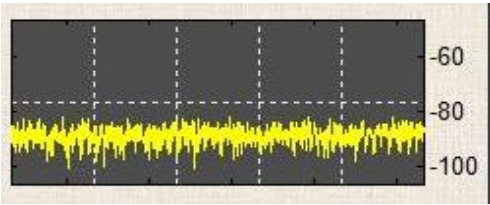
```
fprintf(ht.mxa, ':CALC:MARK1:MODE OFF');  
fprintf(ht.mxa, ':CALC:MARK1:MAX');
```

Figura 15. Ejemplo para envíos de comandos SCPI desde MATLAB.

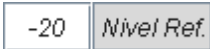


En la página Web de Agilent Technologies, específicamente en donde se encuentra la documentación para el analizador de espectros Agilent N9010A EXA, se puede conseguir una guía de referencia para la manipulación del analizador por comandos SCPI. En esta guía de referencia se encuentran todos los comandos y la función de cada uno que pueden ser enviados al analizador. Esta guía fue de vital importancia durante la programación, para el correcto funcionamiento de cada botón, indicador y los planos para la presentación de muestras en la interfaz gráfica de usuario.

A continuación en la siguiente Tabla 15, se describirá cada elemento programado de la interfaz gráfica junto con una descripción de su función:

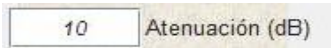
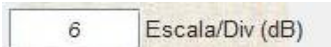
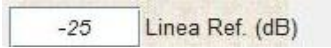
Tabla 15. Descripción de cada elemento en la interfaz gráfica de usuario.

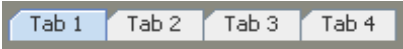
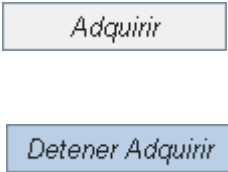

| Nombre | Representación en la Interfaz Gráfica. | Descripción. |
|--|--|---|
| Planos para la representación de las muestras. | | |
| Plano principal. |  | <p>En el presente plano se muestra la señal obtenida en el analizador de espectro, así como, la máscara colocada de fondo que tiene como utilidad servir de guía, para la señal obtenida.</p> <p>Asimismo, en este plano se pueden representar, valores picos, potencia y ancho de banda de la señal.</p> |
| Plano secundario. |  | <p>El plano secundario, siempre que es seleccionado, obtiene una captura de la señal actual del analizador de espectros. De esta forma, al finalizar una medición es posible tener una muestra gráfica, de uno de los parámetros, facilitando su comparación una vez obtenido el siguiente.</p> |

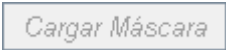

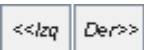
| Indicadores | | |
|----------------------|---|--|
| Dirección IP. | <div>169.254.10.218</div> <div>Dirección IP</div> | En el presente indicador se debe colocar la dirección IP perteneciente al analizador de espectros, luego de ser conectado vía TCP/IP. |
| Span. | <div>4.83229e+006</div> <div>Span</div> | Muestra el valor actual del ancho de la ventana en el analizador de espectros. Puede ser modificado introduciendo un valor deseado. |
| Frecuencia central. | <div>4.67661e+008</div> <div>Fc</div> | Este indicador muestra el valor de la frecuencia central actual en el analizador de espectros. Esta puede ser modificada introduciendo un valor deseado. |
| Frecuencia del pico. | <div></div> <div>Fc Pico</div> | Muestra el valor de la frecuencia donde se encuentra el pico detectado. El mismo, se habilita una vez detectado un pico, mediante la función “Detectar Picos”. |


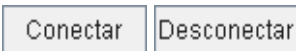


| | | |
|--|--|---|
| Nivel de referencia. |  | <p>Muestra el valor del nivel de referencia actual del analizador de espectros.</p> <p>Puede ser modificado al introducir el valor deseado.</p> |
| Ancho de banda y potencia de polarización horizontal y vertical. |  | <p>Los presentes indicadores, muestran el valor del ancho de banda y la potencia del pico seleccionado.</p> <p>Dichos valores son mostrados luego de ser solicitados al seleccionar el botón de “Medir Pico”. Cada indicador corresponde a una polarización, estos se intercambian al momento de seleccionar el plano secundario.</p> |
| Nivel de discriminación de polarización cruzada. |  | <p>Muestra el valor de la discriminación de polarización cruzada.</p> |
| Estado. | <p>Estado: Conectado.</p> <p>Estado: Desconectado. .</p> | <p>Notificar el estado de la conexión entre el equipo remoto y el analizador de espectro.</p> |


| | | |
|----------------------------|---|--|
| Frecuencia Inicial/Final. | <div>4.6265e+008 Frecuencia Inicial (Hz)</div> <div>4.7265e+008 Frecuencia Final (Hz)</div> | <p>Muestran el valor de la frecuencia inicial y final, de la ventana del analizador de espectros. Estos, pueden ser modificados introduciendo el o los valores deseados.</p> |
| Resolución Ancho de Banda. | <div>91000 Resolución AB (Hz)</div> | <p>Muestra el valor del ancho de banda del filtro (FI). Puede ser modificado al introducir el valor deseado.</p> |
| Ancho de Banda de video. | <div>91000 AB de Video (Hz)</div> | <p>Muestra el ancho de banda de video actual del analizador. Su valor puede ser modificado al introducir el valor deseado.</p> |
| Tiempo de Barrido. | <div>0.00493333 Tiempo de Barrido</div> | <p>Indica el tiempo de barrido configurado en el analizador. Puede ser modificado introduciendo el tiempo deseado en segundos.</p> |

| | | |
|------------------------|--|---|
| Atenuación. |  | Indica el valor en (dB) de la atenuación del analizador de espectros. Su valor puede ser modificado. |
| División, escala en Y. |  | Indica el valor de la escala logarítmica del eje “y”, en el que se observan las señales. Puede ser modificado al introducir el valor deseado. |
| Línea de Referencia. |  | Indica el valor de referencia en (dB) a partir del cual se representan las señales en el analizador. Puede ser modificado al introducir el valor deseado. |

| Botones | | |
|---------------------------------|---|--|
| Tabs. |  | <p>Este botón, permite desplegar hasta 4 diferentes espacios de trabajo.</p> <p>Con esto, es posible utilizar una misma interfaz gráfica para conectarse con diferentes analizadores.</p> <p>Sin embargo, solo se podrá tener conectividad en uno a la vez.</p> |
| Adquirir / Detener adquirir. |  | <p>Este botón activa y desactiva la transferencia de datos entre el analizador y la interfaz gráfica, es decir, permite o no representar las señales del analizador en la interfaz. Solo es posible su uso, una vez establecida la conexión con el analizador.</p> |
| Guardar data. |  | <p>Este botón guarda en un archivo de texto (.txt) la señal mostrada en el analizador, como arreglo de datos.</p> |

| | | |
|-----------------------------------|---|---|
| Cargar Máscara. |  | El actual botón, carga los datos de los archivos de texto previamente almacenados. Y los representa gráficamente en el plano principal. |
| Detectar pico. |  | Este botón tiene realiza la función de detectar el pico de mayor potencia, de la señal observada. Es representado en el analizador, y en el plano principal como un marcador. |
| Próximo pico (Izquierda/Derecha). |  | Su función es la de desplazar el marcador de picos, hacia los diferentes picos que tiene la señal observada, en el analizador y en el plano principal. |

| | | |
|----------------------------------|---|---|
| Medir pico. |  | Se encarga de medir los valores de la potencia y ancho de banda, del pico seleccionado. Dichos valores, serán expuestos en los indicadores correspondientes de cada polarización. |
| Conectar / Desconectar. |  | Este botón conecta o desconecta la interfaz gráfica con el analizador de espectros. |
| Más Parámetros. |  | Este botón despliega el panel de atributos, configurables en el analizador. |
| Slider para nivel de referencia. |  | Permite mover la línea de referencia en el plano principal. Solo se modifica dentro de la interfaz gráfica, sin afectar el valor configurado en el analizador. |

| | | |
|-----------------------|--|---|
| Opciones de Pantalla. |  | <p>Estos botones tienen la función de graficar en el plano principal los mínimos o máximos detectados, o bien un promedio de ellos.</p> <p>Cuando se desea regresar a la normalidad se utiliza el botón “Reiniciar”</p> |
|-----------------------|--|---|

Fuente: Elaboración propia.

IV.5. Fase 5: Pruebas finales.

En la presente fase una vez culminada la programación de toda la interfaz gráfica, se procedió en un comienzo a realizar pruebas previas al modelo desarrollado, antes de verificar su completo funcionamiento en la red de gestión de CANTV. Estas pruebas previas fueron realizadas con el analizador de espectros Agilent N9010A EXA en el laboratorio de microondas de la universidad Católica Andrés Bello ubicada en Caracas.

Las pruebas iniciales consistieron en medir y tomar la muestra de una portadora generada por un radio de comunicación bidireccional marca RadioShack modelo 21-1860. El analizador de espectros a su entrada se dotó de una antena de recepción común del tipo plano tierra.

A continuación para simbolizar una señal transmitida en polarización cruzada, el radio se configuró para transmitir una señal de voz por el canal “cuatro” que representa una señal a 467,659 MHz, generando una portadora en la recepción del analizador a la frecuencia mencionada. Esta portadora representaría una transmisión en polarización horizontal, recibida por la antena del analizador igualmente

representando una recepción en polarización horizontal. Finalmente para representar la recepción de la misma señal en polarización vertical se utilizara el ruido escuchado por el analizador cuando no se genere ninguna señal por el radio.

La señal debe ser adquirida por la interfaz gráfica y posteriormente se tomará una muestra utilizando el botón “Guardar Máscara”, para ser utilizada como máscara y así continuar haciendo las pruebas. Se tomará una muestra de la portadora generada y una muestra del ruido recibido por el analizador cuando no existe señal.

A continuación se manipularon todas las funciones de la interfaz gráfica para medir los valores de potencia del pico producido por la señal del radio e igualmente el valor del ruido recibido. Todo esto con el fin de obtener la diferencia de potencia en la señal simulada entre la polarización horizontal con la polarización vertical, que representaría en un caso real la discriminación de polarización cruzada.

Con la aplicación de estas pruebas se verificó que la interfaz gráfica está mostrando los resultados deseados antes de ser verificada en vivo, para el comisionamiento de una antena remota con polarización cruzada perteneciente a la red de CANTV.

Posteriormente antes de iniciar las pruebas finales con la red de CANTV, se solicitó conectar a la red el analizador de espectros Agilent N9010A EXA, ubicado en la estación terrena de Camatagua. Con el analizador conectado a la red se procedió a verificar el funcionamiento de la interfaz gráfica desde las oficinas de CANTV ubicadas en la Av. Libertador en Caracas.

En estas pruebas finales con el personal satelital de CANTV se realizó la simulación del comisionamiento de una estación terrena y cómo se mediría la discriminación de polarización cruzada utilizando el aplicativo creado en MATLAB. Para ello se trasmite en un segmento del espectro asignado para pruebas, en

polarización horizontal, una portadora limpia sin modulación desde la estación terrena. La cual debe ser captada por el analizador de espectros ubicado en el telepuerto de Camatagua. La discriminación de la polarización se mide con la diferencia entre potencia recibida de la portadora en horizontal (Co-Polarización) y la potencia de la señal en la misma frecuencia en polarización vertical (Cross-Polarización).

Debido a que las señales de Co-Polarización y Cross-Polarización están a una misma frecuencia pero en polarizaciones distintas, para lograr medir ambos parámetros, es necesaria la utilización de dos analizadores de espectros, cada uno observando el espacio de frecuencias designado para medir los parámetros de polarización cruzada.

El analizador de espectros es configurado con las referencias indicadas por el personal satelital de CANTV y así visualizar correctamente la portadora de prueba. Una vez configurados ambos analizadores desde la interfaz gráfica se procedió como se hizo anteriormente a manipular todas las funciones de la interfaz gráfica y comprobar si los valores en los indicadores y configuraciones aplicadas funcionaron correctamente. Para hacer el cambio entre la medición de una polarización a la otra, es necesario desconectar la interfaz y reconectarla nuevamente a el analizador que se desea visualizar.

Como fue mencionado anteriormente, las señales en diferentes polarizaciones se transmiten en la misma frecuencia, por lo que no pueden ser observadas ambas al mismo tiempo por un solo analizador de espectros, es por esto necesario que al finalizar la medición del patrón de Co-Polarización la interfaz gráfica debe ser desconectada y reconectada a otro analizador de espectros donde se esté visualizando el patrón de Cross-Polarización, logrando así con esto obtener la discriminación de polarización cruzada (XPD).

Sin embargo en la búsqueda de una solución más óptima y donde no sea necesaria la utilización de dos analizadores de espectros, se propone en este trabajo de grado la siguiente solución fácil y económica de implementar para agilizar y ahorrar más recursos durante el proceso de medición de los parámetros de polarización cruzada.

La solución se fundamenta en el siguiente esquema de la Figura 16 el cual consta de un switch ECODA 22 KHZ 2 WAY, a su vez de un circuito generador de 22 KHZ, el cual permite el switcheo entre las dos entradas LNA y LNB, donde serán colocadas las señales ortogonales, vertical y horizontal. Con respecto al circuito generador de 22 KHz, el mismo se propone utilizando un PIC o un circuito integrado como el 555. Este circuito será activado, a través de un voltaje DC 5V, arrojado desde el puerto serial de un PC, el cual maneja un aplicativo que reciba una señal de activación remota, para conmutar una señal u otra. Este aplicativo puede el ser el mismo MATLAB. La utilización del suiche “Ecoda 22 kHz 2 Way Switch” o alguno similar, como el que se muestra en la Figura 16. Este suiche al ser inyectado con una señal de comando “DiSEqC” en 22 kHz, tiene la capacidad de dejar pasar la señal que está en “LNB A” o “LNB B”. Cada señal de las polarizaciones ortogonales son colocadas en “LNB A” y “LNB B” respectivamente. Siguiendo esta lógica, la señal de comando “DiSEqC” será generada desde un microcontrolador “PIC” manejado por el puerto serial de un computador, así el PIC inyectara la señal al dispositivo “Ecoda 22 kHz 2 Way Switch”.

El puerto serial del computador debe ser controlado por una aplicación en MATLAB u otra similar, que pueda ser manipulada vía remota a través del protocolo TCP/IP, igual que la interfaz gráfica creada. Su función es enviar un mensaje ó palabra clave para el cambio de polarización, en este sentido, la aplicación receptora por ejemplo, realizada en Visual Basic, recibirá este mensaje traduciéndolo para posteriormente generar una señal DC de 0 ó 5 V en el puerto serial, que permita la activación o desactivación del microcontrolador PIC, logrando así realizar el cambio

en el suiche entre la señal de Co-Polarización a la señal de Cross-Polarización, remotamente. Lo anterior descrito se presenta en la siguiente Figura 16.

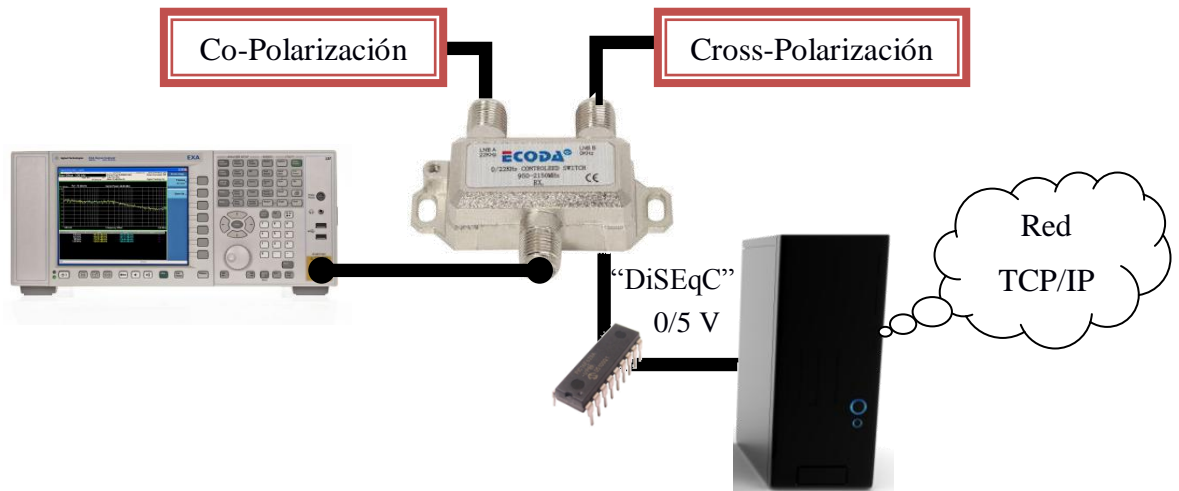


Figura 16. Esquema descriptivo de la solución propuesta.

Fuente: Elaboración propia.

IV.6. Fase 6: Elaboración del documento técnico.

Se redactó un manual técnico donde se explica el modelo creado para el comisionamiento de una estación terrena con polarización cruzada. En este manual se explica con detalle los mecanismos necesarios para poder medir la discriminación de polarización cruzada con la interfaz gráfica creada en el presente trabajo especial de grado, desde la conexión del analizador de espectros vía TCP/IP hasta la utilización de la interfaz gráfica creada en MATLAB, como ayuda directa al usuario.

Capítulo V: Resultados

En el presente capítulo se presenta cada uno de los resultados de la investigación, en base a las fases seguidas en la metodología detalladas en el capítulo anterior para el diseño e implementación de un modelo para optimizar el proceso de polarización cruzada para las antenas remotas enlazadas al Satélite Simón Bolívar. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

V.1. Fase 1: Recopilación de información.

El desarrollo del modelo partió de la búsqueda y recopilación de información relacionada con el tema. La investigación realizada se encuentra documentada formalmente en el Capítulo II (Marco Referencial) y en los anexos al final del presente trabajo especial de grado.

Con los resultados de esta fase se cumplen los siguientes objetivos específicos:

- “Investigar el funcionamiento básico de los sistemas de comunicación satelital, particularmente el satélite Simón Bolívar (VENESAT-1).”
- “Investigar el funcionamiento de la polarización lineal y cruzada, en las estaciones remotas conectadas al Satélite Simón Bolívar (VENESAT-1).”
- “Identificar los parámetros de salida en el analizador de espectro.”
- “Determinar el equipamiento necesario a emplear y para la interconexión con la PC.”

V.2. Fase 2: Investigación en Campo.

Los resultados en la investigación de campo donde se incluyen las entrevistas y los datos recolectados en ellas, permitieron identificar las necesidades primordiales del personal operativo de CANTV en cuanto al comisionamiento o revisión de las estaciones remotas con polarización cruzada enlazada al Satélite Simón Bolívar. Además permitieron conocer de primera mano y en el sitio, por los propios trabajadores, cuáles eran los elementos necesarios para el modelo a desarrollar, lo que permitirá facilitar el trabajo a la hora de hacer el comisionamiento una estación remota, así como garantizar la operación.

Con los resultados de esta fase se recopiló información necesaria para poder cumplir el siguiente objetivo específico:

- “Determinar la herramienta de análisis de señales, requerida para la implementación del modelo que permita lograr el alcance en cuanto a la polarización cruzada”.

V.3. Fase 3: Selección del protocolo e interfaz.

La selección del protocolo TCP/IP para conectar el analizador de espectros a la red de datos TCP/IP interna de CANTV fue de gran importancia, permitiendo tener acceso a él de forma remota Oficina o vía VPN solo conociendo su dirección de red (IP). Además este protocolo al ser tan común en el mercado su interfaz resulta muy económica y fácil de conseguir o hacer, a diferencia de protocolos más antiguos como el GPIB o Serial, que por su diseño y robustez son más difíciles de adquirir en el mercado.

El resultado principal fue disponer una interfaz gráfica de usuario (GUI) desarrollada en MATLAB, resultó en una aplicación de fácil uso y ejecución desde cualquier computador que según MathWorks, los requerimientos mínimos necesarios,

publicados su página web oficial, son sistema operativo Windows XP o superior y con al menos un giga de memoria RAM. La interfaz gráfica puede ser ejecutada sin la necesidad de tener MATLAB instalado en la computadora, esto gracias a que permite compilar una (GUI) como un archivo ejecutable.

El uso de la caja de herramientas “Instrument Control Toolbox” de MATLAB, permitió que la comunicación de datos entre la interfaz gráfica hecha en MATLAB y el analizador de espectros Agilent N9010A EXA, fuera, fluida y sin problemas a través del protocolo TCP/IP.

Con los resultados de esta fase se logró culminar el siguiente objetivo específico:

- “Determinar la herramienta de análisis de señales, requerida para la implementación del modelo que permita lograr el alcance en cuanto a la polarización cruzada.”

V.4. Fase 4: Diseño de la aplicación.

Se desarrolló un modelo para el análisis y estudio de señales en el dominio de la frecuencia provenientes de un analizador de espectros conectado a una red TCP/IP, lo que permite manipular o visualizar resultados desde cualquier punto de la red a la cual esté conectado. Para ello, se diseñó y programó una interfaz gráfica de usuario o GUI en la herramienta matemática MATLAB, en la cual se incluyeron dos planos para la representación de las muestras adquiridas desde el analizador, asimismo, posee una serie de elementos como botones, monitores o indicadores, para la visualización de parámetros y resultados provenientes de algoritmos matemáticos dispuestos por la interfaz.

A continuación en la Figura 17, se muestra el resultado de este diseño.

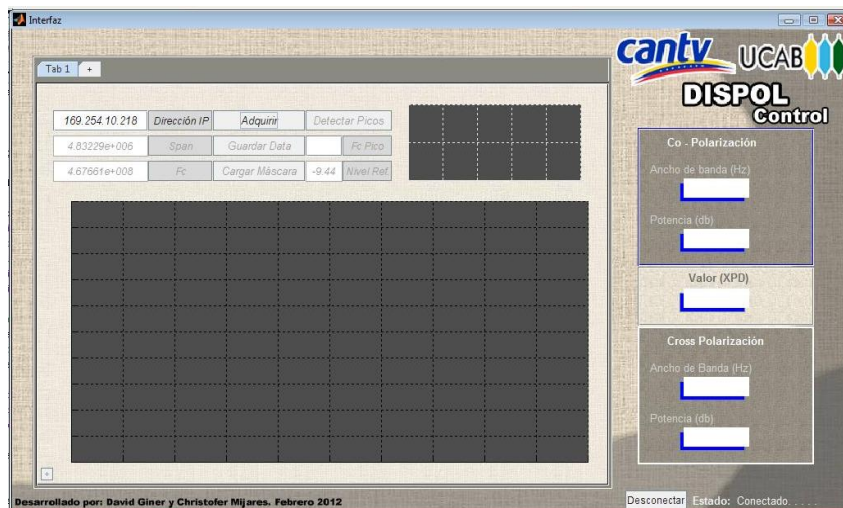


Figura 17. Resultado final del diseño de la interfaz gráfica.
Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados de esta fase se logro cumplir con parte del siguiente objetivo específico:

- “Diseñar el modelo operativo para apoyo en el comisionamiento de antenas y en referencia a la polarización cruzada.”

V.5. Fase 5: Pruebas finales.

En la presente fase de resultados, las pruebas finales fueron divididas en dos partes. La primera parte, representan las pruebas realizadas en el laboratorio de microondas de la universidad Católica Andrés Bello ubicada en Caracas y seguidamente la segunda parte, representan los resultados obtenidos en las instalaciones de CANTV.

A continuación en las siguientes figuras se muestran los resultados obtenidos en el laboratorio de microondas de la universidad Católica Andrés Bello.

En la Figura 18, se puede apreciar la portadora detectada en el analizador de espectros, generada por el radio marca RadioShack, como fue explicado en el Capítulo IV (Desarrollo). La detección de los valores iniciales de configuración del analizador como el ancho de ventana (Span), frecuencia central, nivel de referencia y otros funcionaron sin problemas.

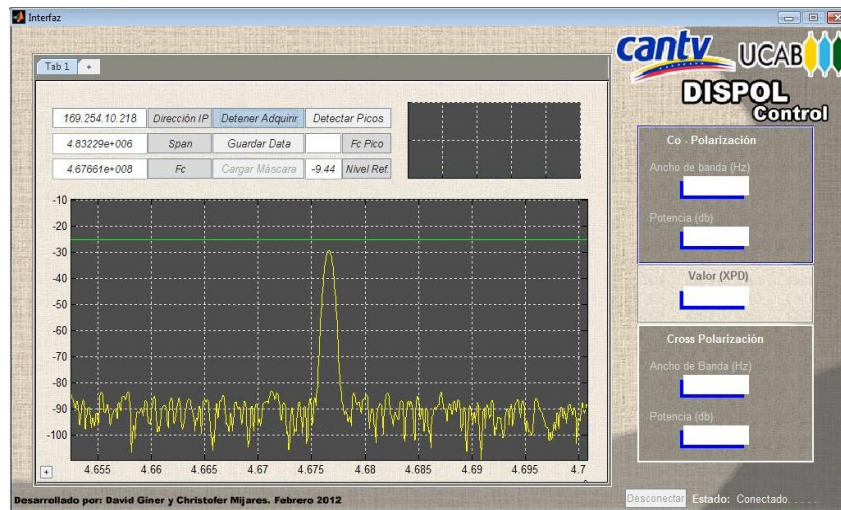


Figura 18. Adquisición de la señal de prueba por la interfaz gráfica.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación en la Figura 19, se puede apreciar como la máscara capturada fue cargada en la interfaz gráfica, para apreciar la diferencia entre la señal original capturada (roja) y la que se está adquiriendo en el momento (amarilla). Igualmente se aprecia como la función de detectar picos se utilizó para conocer la frecuencia en donde se encuentra la portadora detectada, el indicador de “Fc Pico” muestra el valor.

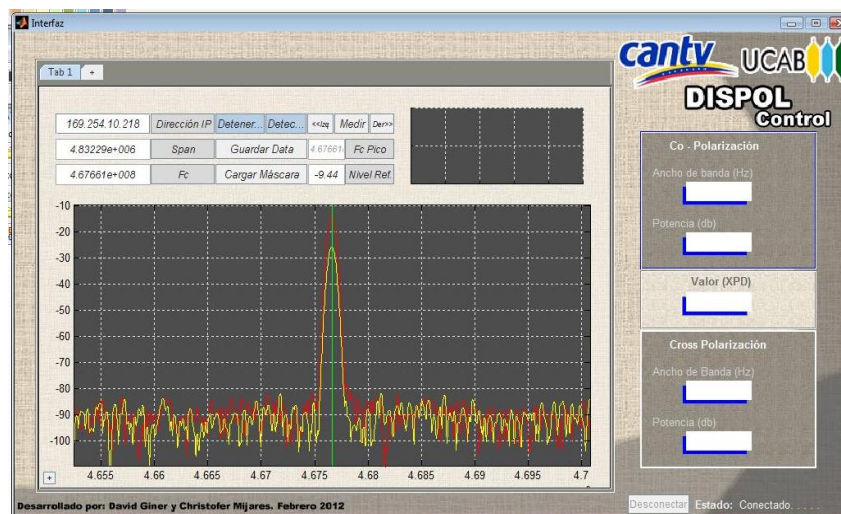


Figura 19. Uso de máscara y detector de picos en la interfaz gráfica.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 20, se muestran los resultados de utilizar el botón de “Medir pico”, en donde se detecta el ancho de banda de la portadora y su potencia en decibeles. A la par, se aplico la opción para hacer una captura en el plano secundario. Como se puede apreciar, en esta figura el valor de discriminación de polarización cruzada ya se encuentra en el indicador correspondiente a la espera de obtener la medida de potencia en Cross-Polarización para indicar la diferencia.

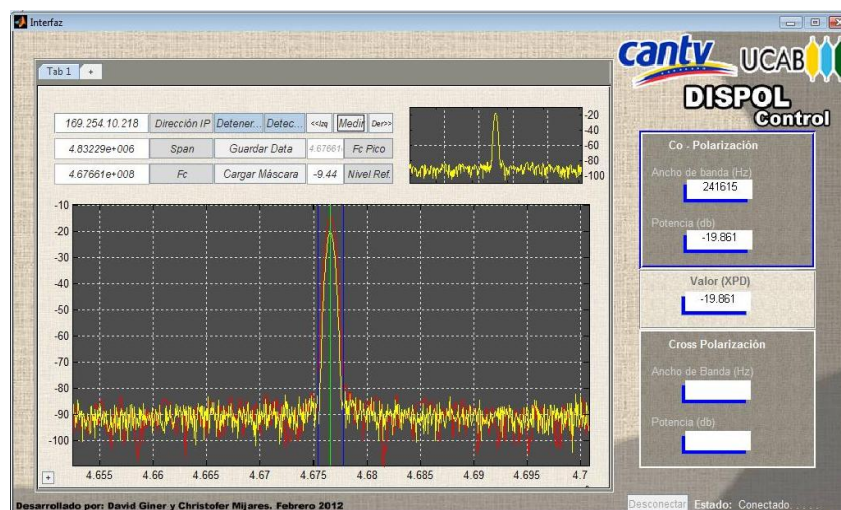


Figura 20. Adquisición de ancho de banda y potencia de la señal de prueba.
Fuente: Elaboración propia.

En la presente Figura 21, último resultado de la primera fase de pruebas, se puede apreciar el cambio de máscara para la medición de potencia en los indicadores de Cross-Polarización, logrando obtener la diferencia de potencia entre la simulación de ambas polarizaciones en su respectivo indicador (XPD).

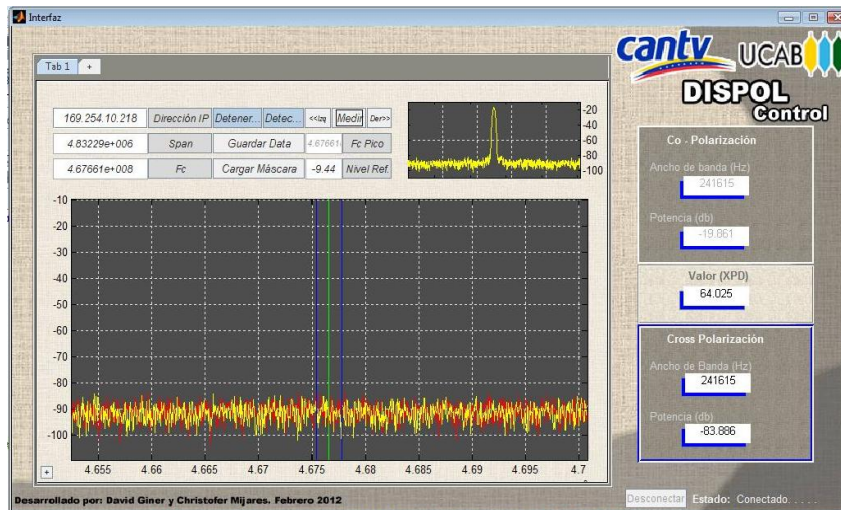


Figura 21. Adquisición de potencia de la señal de ruido.
Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados de esta primera parte se logró culminar el siguiente objetivo específico:

- “Diseñar el modelo operativo para apoyo en el comisionamiento de antenas y en referencia a la polarización cruzada”.

Posteriormente luego de verificar el funcionamiento de la interfaz gráfica, se procedió con la pruebas aplicando el modelo, para el análisis y estudio de señales, desde las oficinas de CANTV ubicadas en la Av. Libertador de Caracas. A continuación se muestran los resultados de las pruebas finales realizadas.

En la Figura 22, se logra apreciar la interfaz gráfica enlazada con el analizador de espectros, Agilent N9010A EXA, que está ubicado en la estación terrena de

Camatagua, Estado Aragua. La portadora situada a la izquierda, es la portadora sin modulación, transmitida desde una estación remota de pruebas perteneciente al personal operativo de CANTV. Durante las pruebas, la interfaz se adaptó perfectamente a los valores de configuración requeridos por el analizador de espectros, para la correcta visualización de la portadora de pruebas, incluso con la función de “Mas Parámetros”, los valores de configuración se pudieron adquirir y modificar sin presentar inconvenientes.

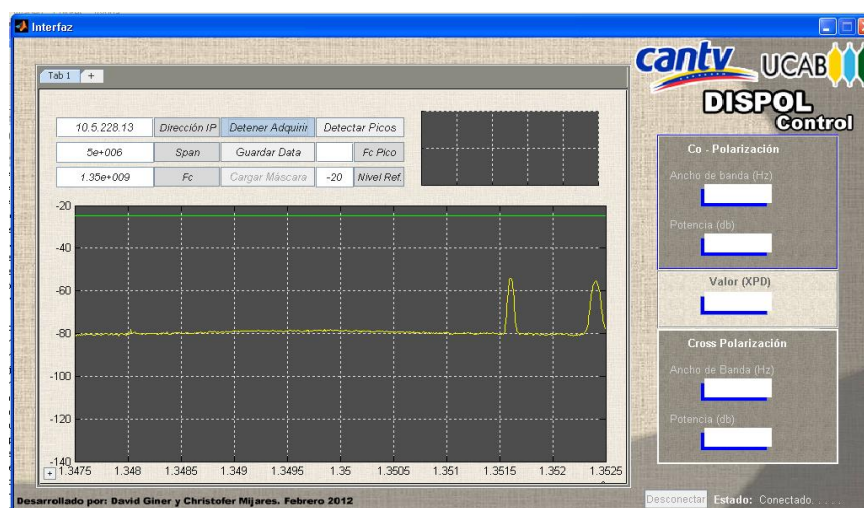


Figura 22. Adquisición de la portadora sin modulación.
Fuente: Elaboración propia.

En la presente Figura 23, se aprecian los resultados de utilizar las funciones de la interfaz gráfica para medir el ancho de banda de la portadora sin modulación y su potencia. Se observa claramente como los valores fueron recibidos e incorporados a sus respectivos indicadores.

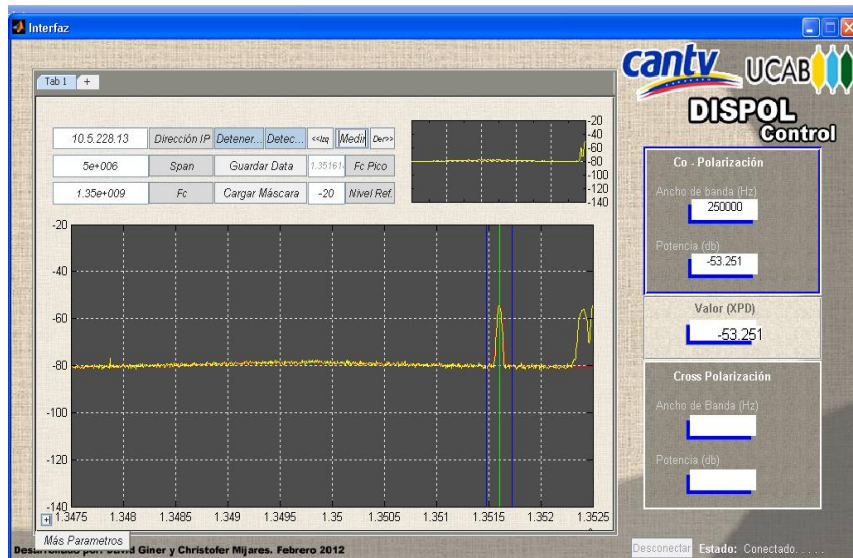


Figura 23. Medición de la portadora sin modulación.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente en la Figura 24, se observa el resultado de la medición de la señal de Cross-polarización. Una vez obtenida esta medición, se pudo conocer el valor de la discriminación de la polarización cruzada para la estación remota de pruebas perteneciente al personal operativo de CANTV, el resultado se puede apreciar en el respectivo indicador.

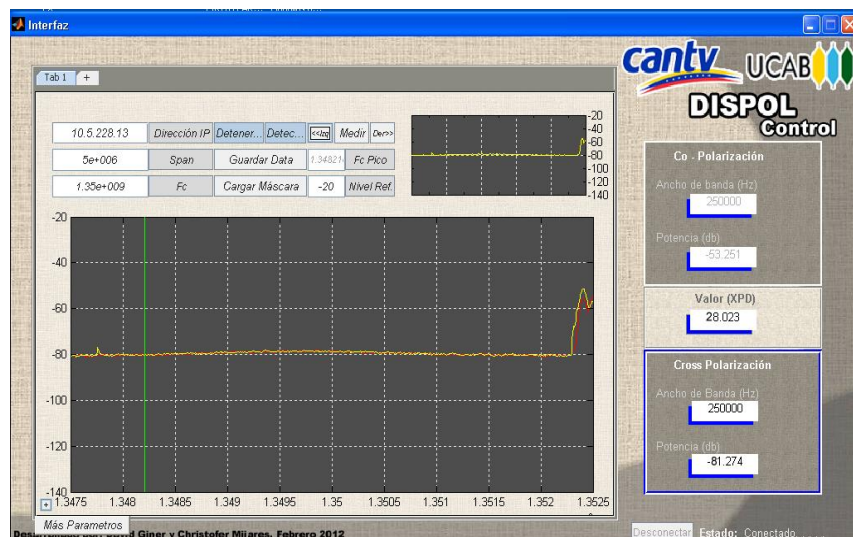


Figura 24. Medición de la Cross-Polarización.
Fuente: Elaboración propia.

Con un resultado de 28 dBm, que concuerda perfectamente con los valores aceptables de calidad de servicio, establecidos por el personal operativo de CANTV. Con estas últimas pruebas, se logró crear un modelo para mejorar los procedimientos que eran utilizados para hacer el comisionamiento las estaciones remotas por el personal de CANTV, para la obtención y medición de los parámetros de la polarización cruzada. Los resultados confirmaron que es posible manejar el analizador remotamente sin problemas, siempre y cuando el analizador y la computadora con la interfaz gráfica estén conectados a la misma red TCP/IP. Además, ahora con la incorporación de las máscaras y referencias, la medición de los parámetros de las estaciones remotas, se podrán hacer con una mayor precisión.

Incluir los resultados o mascara obtenida para una antena remota en la estación terrena Camatagua, colocar los valores obtenidos, así como mostrar la máscara gráficamente en el aplicativo.

Finalmente, con los resultados de esta segunda parte se logró culminar los siguientes objetivos específicos:

- “Definir patrones o máscaras preestablecidas.”
- “Verificar el funcionamiento del modelo a implementar vía red de gestión CANTV.”

V.6. Fase 6: Elaboración del documento técnico.

La elaboración del documento técnico realizado se encuentra documentado formalmente en los anexos al final del presente trabajo especial de grado.

Finalmente, con los resultados de esta fase se logró culminar el siguiente objetivo específico:

- “Elaboración de documento técnico para la aplicación del modelo operativo.”

Con el cumplimiento de este último objetivo, se completan todos los objetivos específicos propuestos en el trabajo especial de grado, logrando así el objetivo general propuesto:

- “Diseño e implementación de un modelo para la optimización del proceso relacionado con la polarización cruzada durante el comisionamiento de antenas remotas enlazadas al satélite Simón Bolívar (VENESAT-1)”.

Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones

En el presente y último capítulo se resumen los principales resultados y aportes más significativos del Trabajo Especial de Grado, el cual consta del Diseño e implementación de un modelo para optimizar el proceso de polarización cruzada para las antenas remotas enlazadas al satélite Simón Bolívar. Las conclusiones y recomendaciones respaldan el desarrollo y los resultados expuesto en los capítulos anteriores.

VII.1.Conclusiones.

La forma de operación del Satélite Simón Bolívar en cuanto a sus servicios permite duplicar la cantidad de información a transmitir en comparación con enlaces satelitales convencionales, por su capacidad para establecer enlaces en polarización cruzada con estaciones remotas del tipo VSAT. Logrando así, cubrir todas aquellas necesidades referentes al acceso y transmisión de datos, mediante la reutilización de frecuencias, alcanzando un uso más eficiente del espectro. Además, permite entregar servicios de telecomunicaciones como telefonía, educación, salud o Internet a cualquier región del país.

El uso de MATLAB como instrumento para la creación de una interfaz gráfica, solvento la necesidad de comunicación con el analizador de espectros, (Agilent N9010A EXA) y además, se logró la integración necesaria para la adquisición de datos vitales en la visualización de gráficas o indicadores requeridos por el personal satelital de CANTV.

Gracias al avance en el desarrollo de instrumentos de medición, en cuanto a la inclusión de la interfaz TCP/IP en analizadores de espectros como el Agilent N9010A EXA y el desarrollo de la caja de herramientas “Instrument Control Toolbox” de MATLAB con su capacidad para la comunicación entre MATLAB y el analizador de

espectros; Se obtuvo un enorme aprovechamiento al momento de interactuar con el analizador de espectros en redes TCP/IP. Lo cual resulta una gran ventaja, haciendo posible controlar el analizador de espectros remotamente sin importar la distancia, necesario para el soporte operativo de CANTV.

Asimismo, se realizó la entrega de un modelo seguro a la unidad de operaciones satelitales de CANTV logrando mejorar los procedimientos y la forma para la obtención y medición de los parámetros de polarización cruzada a ser utilizado por el personal de operaciones satelitales de CANTV, asegurando el robustecimiento del proceso de instalación o revisión de estaciones remotas, para así asegurar la seguridad operacional del servicio. Este trabajo especial de grado permitirá que cualquier especialista o encargado del área satelital de CANTV a través del modelo creado, pueda acceder, manipular y medir remotamente desde cualquier localidad de CANTV en su red corporativa o vía la red privada virtual (VPN), los valores obtenidos de polarización cruzada durante el comisionamiento o revisión en caso de falla del enlace de una estación remota. Además podrá contar con la utilización máscaras o valores de referencia, para la correcta medición del parámetro de polarización cruzada, logrando con esto poder enganchar o verificar una estación remota con mayor facilidad y efectividad, así como garantizar su calidad del servicio, y trazabilidad en la instalación de estaciones remotas y sus parámetros obtenidos.

VII.2.Recomendaciones.

Después de presentar las conclusiones, a continuación se determinaron las recomendaciones necesarias para lograr un mejor aprovechamiento de las bondades del proyecto:

- Se recomienda al personal de Seguridad y Redes de CANTV, crear mecanismos de seguridad en su propia red TCP/IP para blindar el acceso al analizador de espectros, para que este solo pueda ser manipulado por el personal autorizado dentro de la red de CANTV.
- Se recomienda al personal de Seguridad de la Operación y Servicios de CANTV, dar continuidad a la propuesta de implementación del elemento de conmutación remota de señales ó suiche para lograr observar ambas señales polarizadas ortogonalmente con un mismo analizador (Véase Capítulo IV: Desarrollo), para lograr así un ahorro significativo de recursos a la hora de hacer el comisionamiento o revisión de una estación remota. Pudiendo utilizar más analizadores simultáneamente.
- Dado el alto potencial de la interfaz gráfica desarrollada, se recomienda al equipo técnico de operaciones satelitales de CANTV, continuar con su desarrollo incorporando más módulos y opciones para el manejo del analizador u otras aplicaciones usadas por el personal satelital de CANTV.

Bibliografía

ABAE. (2009). *Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales*. Recuperado el Enero de 2011, de Satélite Simon Bolivar: http://www.abae.gob.ve/paginas/satelite_simon_bolivar.html

Agilent Technologies. (s.f.). *ESA-L Series Spectrum Analyzers*. Recuperado el 1 de Junio de 2011, de Agilent Web Page: <http://www.home.agilent.com>

Bolós, R. G., Fuentes, A. J., Belda, A. G., & Fernández, Á. C. (2000). *Antenas Embarcadas en Satelites*. Recuperado el 4 de Junio de 2011, de Universidad Politécnica de Valencia: http://www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo9_99.00/index.html

CIAT. (11 de Septiembre de 2001). *Microondas*. Recuperado el 25 de Abril de 2011, de Centro Internacional de Agricultura Tropical: <http://webapp.ciat.cgiar.org/dtmradar/propiedades-microondas.htm>

Coronado, A., & Moumtadi, F. (2006). *Metodología para la obtención del patrón de radiación y prueba de aislamiento en sistemas de comunicaciones vía satélite*. UNAM, División de Ingeniería Eléctrica y Departamento de Telecomunicaciones Facultad de Ingeniería, Mexico.

FUNDACITE. (2008). *Satélite Simón Bolívar*. Recuperado el Febrero de 2011, de Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología en el Estado Carabobo: <http://www.fundacite-carabobo.gob.ve/>

Instrumentación Electrónica. (25 de Junio de 2009). *El analizador de espectros*. Recuperado el 18 de Mayo de 2011, de Instrumentación Electrónica: http://www.electronicam.es/analizador_espectros.html

ITU. (2002). *Handbook on Satellite Communications*. Wiley-Interscience.

Kalipedia. (2009). *Antenas parabólicas*. Recuperado el Febrero de 2011, de http://www.kalipedia.com/tecnologia/tema/antenasparabolicas.html?x=20070821klpinf_62.Kes&ap=2

Luzón Marco, G. (27 de Septiembre de 2007). *Pagina Personal de Luzón*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2011, de Universidad de Zaragoza: www.unizar.es/lfnae/luzon/notas/Polarizacion.ppt

Martin, J. (2006). *Analizadores de espectros*. Recuperado el 4 de Junio de 2011, de Revista Española de Electronica: http://www.redeweb.com/_txt/618/60.pdf

MathWorks. (2011). *Instrument Control Toolbox*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2011, de MathWorks: <http://www.mathworks.com/help/toolbox/instrument/fl2-22998.html>

MathWorks. (2011). *MATLAB*. Recuperado el 19 de 12 de 2011, de MathWorks: <http://www.mathworks.com/products/matlab/description1.html>

Mora, M. E. (2006). *Metodología de la Investigación: Desarrollo de la Inteligencia*. Mexico: Thomson. Rodríguez, I. N., & Preciado, G. F. (6 de Junio de 2008). *Departamento de Matematicas*. Recuperado el 28 de Diciembre de 2011, de Universidad de Sonora: <http://www.estadistica.mat.uson.mx/Material/elmuestreo.pdf>

Romero, G. (Octubre de 2008). *Guía del Analizador de Espectro*. Recuperado el 4 de Junio de 2011, de Scribd: <http://es.scribd.com/doc/6928110/ANALIZADOR-DE-ESPECTRO>

Rosado, C. (2010). *Comunicación por Satélites*. Ciudad de Mexico: AHCET.

Sixto, J. (2011). *Implementación de un laboratorio virtual para la operación centralizada de equipos de medición de telecomunicaciones del CICTE*. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.

Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2010). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestrías y Tesis Doctorales*. Caracas: Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador.

Wikipedia. (19 de Diciembre de 2011). *MATLAB*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2011, de Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/MATLAB>

Wikipedia. (21 de Noviembre de 2011). *Polarización electromagnética*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2011, de Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Polarizacion_electromagnetica

Wikipedia. (7 de Diciembre de 2011). *RJ-45*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2011, de Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/RJ-45>

Anexos

Apéndice 1. Glosario de Términos.

Anexo 1. Glosario de Términos.

Analizador de Espectros: El analizador de espectros es una herramienta capaz de representar las componentes espectrales de una determinada señal a partir de su transformada de Fourier.

Banda C: Es un rango del espectro electromagnético de las microondas que comprende frecuencias de entre 3,7 y 4,2 GHz y desde 5,9 hasta 6,4 GHz.

Banda Ka: Es un rango de frecuencias utilizado en las comunicaciones vía satélite. El rango de frecuencias en las que opera la banda Ka son las comprendidas entre los 18 GHz y 31 GHz.

Banda Ku: Es una porción del espectro electromagnético en el rango de las microondas que va de los 12 a los 18 GHz.

CANTV: Compañía Anónima Nacional Teléfonos de Venezuela.

Comisionamiento: Proceso sistemático para garantizar que los los equipos de transmisión interactúen correctamente entre sí, de acuerdo con las necesidades operativas de los dueños del proyecto.

Co-Polarización: Es la componente deseada entre ambas polarizaciones ortogonales.

Cross-Polarización: Interferencia entre ambas polarizaciones ortogonales, componente no deseada.

Estación Remota: Son los equipos que sirven para poder establecer comunicación con el satélite, y hacer uso de sus servicios.

Estación Terrena: Es un conjunto de equipos de comunicaciones y de computo que puede ser terrestre, marítimo o aeronáutico. Suelen ser usadas en forma general para transmitir y recibir del satélite.

FUNDACITE: Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología.

GPIB: General-Purpose Instrumentation Bus o Bus de interfaz de propósito general.

GUI: Graphical user interface o Interfaz gráfica de usuario.

HUB: Es un centro de distribución o concentrador de la información.

IP: Internet Protocol o protocolo de Internet.

MATLAB: Es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M).

Modelo: Es un punto de referencia o procedimiento para imitarlo o reproducirlo.

Polarización Cruzada: Es transmitir dos señales polarizadas ortogonalmente ambas en la misma frecuencia pero sin interferirse entre sí.

Polarización: Es un fenómeno que puede producirse en las ondas electromagnéticas, como la luz, por el cual el campo eléctrico oscila sólo en un plano determinado, denominado plano de polarización.

RJ-45: Es una interfaz física comúnmente usada para conectar redes de cableado estructurado.

TCP/IP: Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet.

Telepuerto: Es una estación terrestre de comunicaciones para la retransmisión de distintos servicios de televisión, voz y datos vía satélite.

Transpondedor: Es un tipo de dispositivo utilizado en telecomunicaciones cuya función es la recepción, amplificación y reemisión en una banda distinta de una señal.

UDP: User Datagram Protocol o Protocolo de Datagrama de Usuario.

VPN: Virtual Private Network o Red Privada Virtual.

VSAT: Terminal de Apertura Muy Pequeña o Very Small Aperture Terminal.

XDP: Cross Polarization Discrimination o Discriminación de la Polarización Cruzada.

Apéndice 2. Recomendaciones ITU.

Anexo 2. Recomendaciones por la ITU, para la discriminación de la polarización cruzada en estaciones remotas del tipo VSAT.

| |
|--|
| <p style="text-align: center;">RECOMMENDATION ITU-R S.727-1</p> <p style="text-align: center;">Cross-polarization isolation from very small aperture terminals (VSATs) (Question ITU-R 23-1/4) (1992-2002)</p> <p>The ITU Radiocommunication Assembly,</p> <p style="padding-left: 40px;"><i>considering</i></p> <p>a) that it is necessary to provide protection of the wanted VSAT earth station signals from signals on the orthogonal polarization in the fixed-satellite service;</p> <p>b) that cross-polarization isolation in prime focus axisymmetric parabolic antenna systems (centre fed), is usually higher than in prime focus offset-fed paraboloid systems;</p> <p>c) that for small aperture antennas (e.g. 1.2-2.4 m), offset fed antenna geometry has the advantage of providing significantly lower side-lobe levels than from centre fed antennas;</p> <p>d) that offset fed antennas are widely used for VSAT operation;</p> <p>e) that the reduction in the efficiency of frequency reuse by dual polarization has to be taken into account when using prime focus offset fed antennas with relatively low polarization discrimination,</p> <p style="padding-left: 40px;"><i>recommends</i></p> <p>1 that the ratio of the on axis co-polar gain to the cross-polar gain of a linearly polarized antenna in the allocated transmit frequency band should be not less than:</p> <ul style="list-style-type: none">– 25 dB within the 0.3 dB contour of the main beam, and– 20 dB between the 0.3 dB and 20 dB contours of the main beam; <p>2 that beyond the 20 dB contour of the main beam of the antenna, the cross-polar gain should meet the same standards as the co-polar gain.</p> <p>NOTE 1 – Some administrations (including satellite operators) may require higher cross-polar isolation than specified above.</p> <p>NOTE 2 – Further studies are needed to assess the applicability of this Recommendation for VSAT in frequency bands above 18 GHz.</p> |
|--|

Fuente: (ITU, 2002)

Apéndice 3. Extractos Código Fuente.

Anexo 3. Extracto del código fuente de la interfaz gráfica programada en MATLAB, su función es adquirir los valores iniciales al conectarse la interfaz gráfica.

```
% Lee Span
h.tabs.tab1.infoAnalizador.span = str2double(query(h.tabs.tab1.mxa,':FREQ:SPAN?'));
set(h.tabs.tab1.texto_Span,'String',h.tabs.tab1.infoAnalizador.span);
% Lee Frecuencia Central
h.tabs.tab1.infoAnalizador.frec = str2double(query(h.tabs.tab1.mxa,':FREQ:CENT?'));
set(h.tabs.tab1.texto_FrecuenciaCentral,'String',h.tabs.tab1.infoAnalizador.frec);
% Lee Nivel de Referencia de la señal
h.tabs.tab1.infoAnalizador.ref_lev = str2double(query(h.tabs.tab1.mxa,...
':DISP:WIND:TRAC:Y:RLEV?'));
set(h.tabs.tab1.texto_niveldeReferencia,'String',h.tabs.tab1.infoAnalizador.ref_lev);
h.tabs.tab1.infoAnalizador.ref_lev1 = str2double(query(h.tabs.tab1.mxa,...
':DISP:WIND:TRAC:Y:PDIV?'));
% Display Line
h.tabs.tab1.infoAnalizador.displayLine = str2double(query(h.tabs.tab1.mxa,...
':DISP:WIND:TRAC:Y:DLIN?'));
% Set the data trace format to REAL, 32 bits
fprintf(h.tabs.tab1.mxa,':FORM:DATA REAL,32');
% Get the number of trace points
h.tabs.tab1.infoAnalizador.nr_points = str2double(query(h.tabs.tab1.mxa,':SWE:POIN?'));
% Put the instrument in continuous mode
fprintf(h.tabs.tab1.mxa,':INIT:CONT ON');

xmin = (h.tabs.tab1.infoAnalizador.frec-h.tabs.tab1.infoAnalizador.span/2);
xmax = (h.tabs.tab1.infoAnalizador.frec+h.tabs.tab1.infoAnalizador.span/2);
```

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4. Extracto del código fuente de la interfaz gráfica programada en MATLAB, su función activar o desactivar la transferencia de datos entre el analizador y la interfaz gráfica.

```
function adquirir(hObject,eventdata)

h = guidata(get(hObject,'parent'));

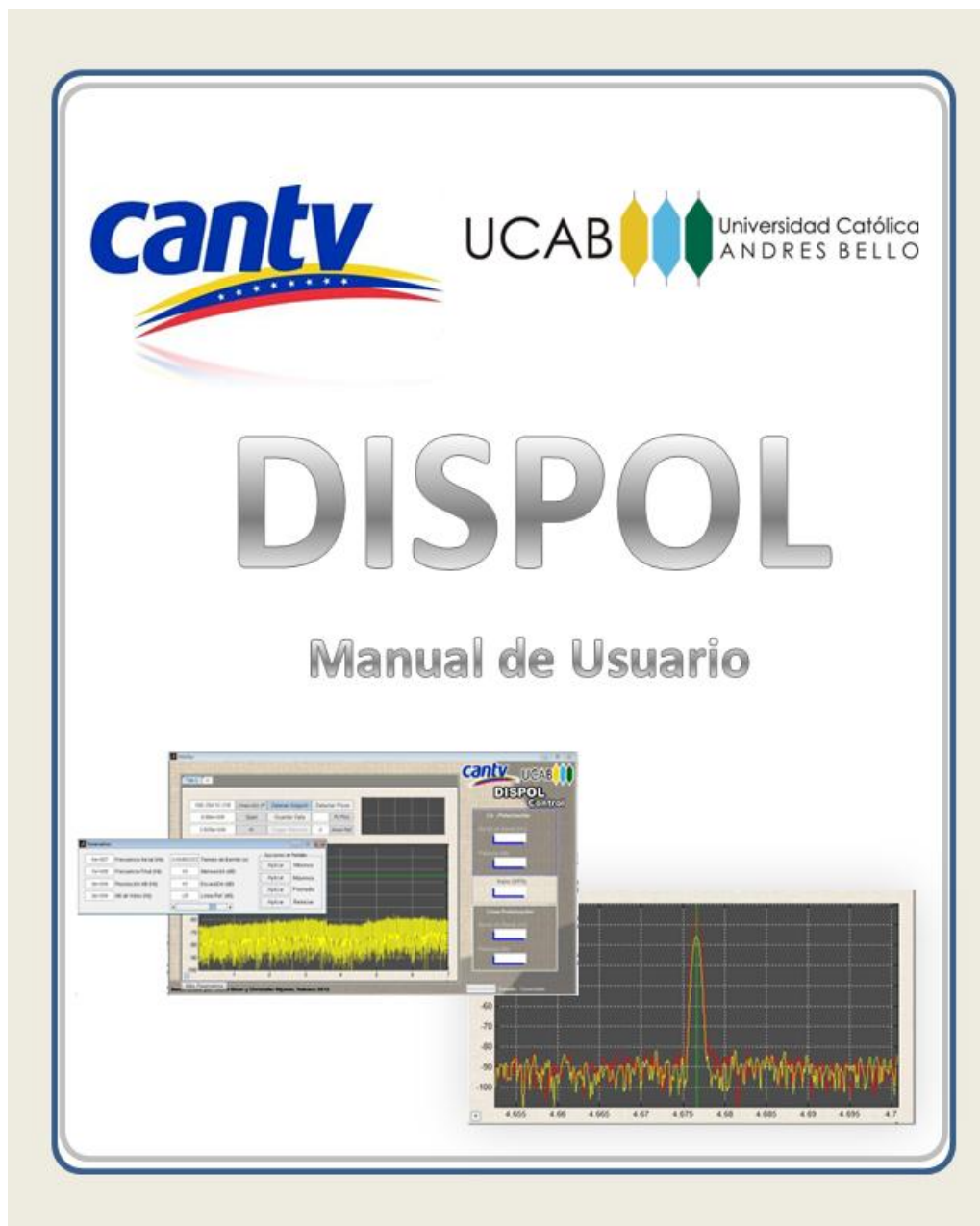
if (get(hObject,'Value') == 1)

    if (get(get(hObject,'parent'),'parent') == h.tabs.tab1.tab)
        ht = h.tabs.tab1;
        fclose(h.tabs.tab1.mxa);
        h.tabs.tab1.infoAnalizador.IP = get(h.tabs.tab1.edittext_direccionIP,'String');
        h.tabs.tab1.infoAnalizador.port = 5025;
        h.tabs.tab1.mxa = tcpip(h.tabs.tab1.infoAnalizador.IP,h.tabs.tab1.infoAnalizador.port);
        set(h.tabs.tab1.mxa,'InputBufferSize',100000);
        set(h.tabs.tab1.mxa,'Timeout',5);
        fopen(h.tabs.tab1.mxa);
        % set(h.tabs.tab1.ejes.polv,'Interruptible','on');
    elseif (get(get(hObject,'parent'),'parent') == h.tabs.tab2.tab)
        ht = h.tabs.tab2;
        fclose(h.tabs.tab2.mxa);
        h.tabs.tab2.infoAnalizador.IP = get(h.tabs.tab2.edittext_direccionIP,'String');
        h.tabs.tab2.infoAnalizador.port = 5025;
        h.tabs.tab2.mxa = tcpip(h.tabs.tab2.infoAnalizador.IP,h.tabs.tab2.infoAnalizador.port);
        set(h.tabs.tab2.mxa,'InputBufferSize',100000);
        set(h.tabs.tab2.mxa,'Timeout',5);
        fopen(h.tabs.tab2.mxa);
        % set(h.tabs.tab2.ejes.polv,'Interruptible','on');
    elseif (get(get(hObject,'parent'),'parent') == h.tabs.tab3.tab)
        ht = h.tabs.tab3;
        fclose(h.tabs.tab3.mxa);
        h.tabs.tab3.infoAnalizador.IP = get(h.tabs.tab3.edittext_direccionIP,'String');
        h.tabs.tab3.infoAnalizador.port = 5025;
        h.tabs.tab3.mxa = tcpip(h.tabs.tab3.infoAnalizador.IP,h.tabs.tab3.infoAnalizador.port);
        set(h.tabs.tab3.mxa,'InputBufferSize',100000);
        set(h.tabs.tab3.mxa,'Timeout',5);
        fopen(h.tabs.tab3.mxa);
        % set(h.tabs.tab3.ejes.polv,'Interruptible','on');
    elseif (get(get(hObject,'parent'),'parent') == h.tabs.tab4.tab)
        ht = h.tabs.tab4;
        fclose(h.tabs.tab4.mxa);
        h.tabs.tab4.infoAnalizador.IP = get(h.tabs.tab4.edittext_direccionIP,'String');
        h.tabs.tab4.infoAnalizador.port = 5025;
        h.tabs.tab4.mxa = tcpip(h.tabs.tab4.infoAnalizador.IP,h.tabs.tab4.infoAnalizador.port);
        set(h.tabs.tab4.mxa,'InputBufferSize',100000);
        set(h.tabs.tab4.mxa,'Timeout',5);
        fopen(h.tabs.tab4.mxa);
        % set(h.tabs.tab4.ejes.polv,'Interruptible','on');
    end
    set(ht.ejes.polv,'Visible','on');
    activarElementos(ht);
end
```

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 4. Manual de Usuario.

Anexo 5. Manual de Usuario.



Información de Usuario

| | |
|---------------------------------------|---|
| 1. Requerimientos | 1 |
| 2. Descripción de la aplicación | 2 |
| 3. Guía de Instalación | 2 |
| 4. Descripción | 3 |
| 5. Funcionamiento | 8 |

1. Requerimientos

- ❖ Sistema operativo Windows XP o superior.
- ❖ 1 Giga de memoria RAM.
- ❖ 200 Mega Bytes de espacio libre en el disco duro.

2. Descripción de la aplicación

Esta herramienta tiene como objeto, la obtención de máscaras provenientes del analizador de espectro, que sirven como patrones para el comisionamiento de antenas.

Esta herramienta le permitirá llevar acabo las siguientes opciones:

- ✓ Manejo del analizador de espectro, en forma remota, a través de una red TCP/IP.
- ✓ Análisis de señales en el domino de la frecuencia, en tiempo real.

3. Guía de Instalación

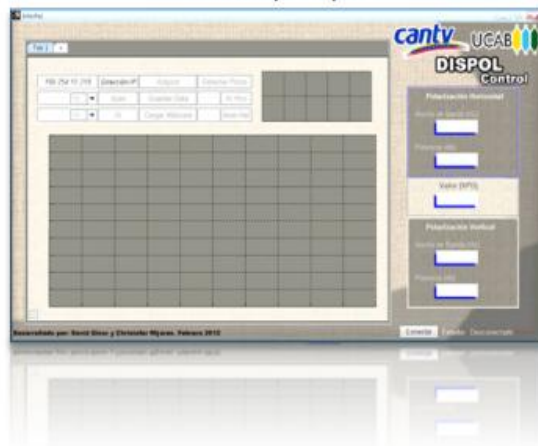
Pasos para instalar la aplicación “DISPOL”:

- 1) Instalar el archivo MCRInstaller.exe
- 2) Agregar la ruta de acceso: `PATH=C:\Program Files\MATLAB\MATLAB Compiler Runtime\V78\runtime\{win32|win64};%PATH %`
- 3) Ejecutar el archivo DISPOL.exe

4. Descripción

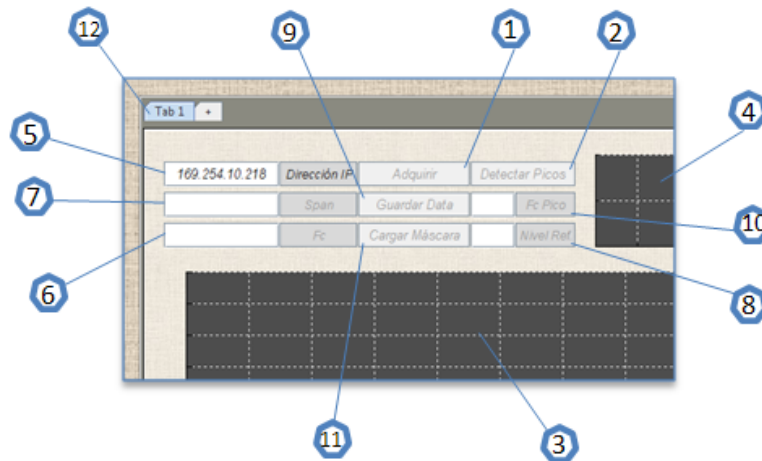
La presente herramienta DISPOL tiene como objetivo, asegurar y garantizar la discriminación de la polarización cruzada durante el comisionamiento e instalación de antenas remotas con el Satélite Simón Bolívar. De esta forma, con gestión centralizada, acceso remoto, gestión de máscaras, niveles de referencia y trazabilidad de las instalaciones.

Pantalla principal



La aplicación consta de dos planos, uno principal y otro secundarios, así como una serie de elementos (botones) que le permitirán realizar diversas acciones para el análisis y estudio de las señales provenientes del analizador de espectros. A continuación se dará una breve descripción de cada uno de estos elementos.

3.1 Descripción



(1) Adquirir: activa y desactiva la transferencia de datos entre el analizador y la interfaz gráfica, es decir, permite o no representar las señales del analizador en la interfaz. Solo es posible su uso, una vez establecida la conexión con el analizador.

(2) Detectar Picos: Este botón tiene realiza la función de detectar el pico de mayor potencia, de la señal observada. Es representado en el analizador, y en el plano principal como un marcador.

(3) Plano Principal: Este plano muestra la señal obtenida en el analizador de espectro, así como, la mascara colocada de fondo que tiene como utilidad servir de guía, para la señal obtenida. Asimismo, en este plano se pueden representar, valores picos, potencia y ancho de banda de la señal

3.2 Descripción

(4) Plano Secundario: El plano secundario, siempre que es seleccionado, obtiene una captura de la señal actual del analizador de espectros. De esta forma, al finalizar una medición es posible tener una muestra gráfica, de uno de los parámetros, facilitando su comparación una vez obtenido el siguiente.

(5) Dirección IP: Se coloca la dirección IP perteneciente al analizador de espectros, luego de ser conectado vía TCP/IP.

(6) Frecuencia Central: Muestra el valor de la frecuencia central actual en el analizador de espectros. Esta puede ser modificada introduciendo un valor deseado.

(7) Span: Muestra el valor actual del ancho de la ventana en el analizador de espectros. Puede ser modificado introduciendo un valor deseado.

(8) Nivel de Referencia: Muestra el valor del nivel de referencia actual del analizador de espectros. Puede ser modificado al introducir el valor deseado.

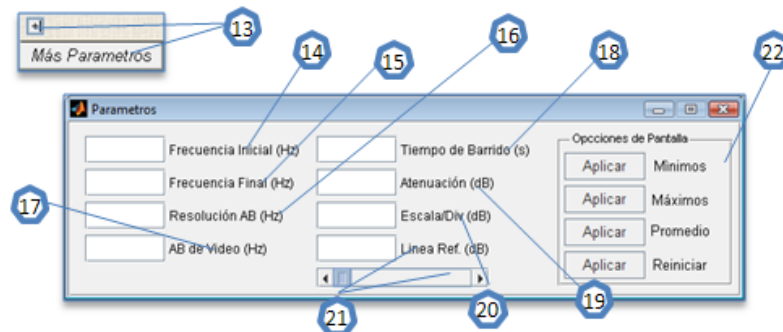
(9) Guardar Data: Guarda en un archivo de texto (.txt) la señal mostrada en el analizador, como arreglo de datos.

(10) Frecuencia Pico: Muestra el valor de la frecuencia donde se encuentra el pico detectado. El mismo, se habilita una vez detectado un pico, mediante la función "Detectar Picos".

3.3 Descripción

(11) **Cargar Mascara:** Carga los datos de los archivos de texto previamente almacenados. Y los representa gráficamente en el plano principal.

(12) **Tab's:** Permite desplegar hasta 4 diferentes espacios de trabajo. Con esto, es posible utilizar una misma interface para conectarse con diferentes analizadores.



(13) **Más Parámetros:** Despliega el panel de atributos, configurables en el analizador.

(14) **Frecuencia Inicial:** Muestran el valor de la frecuencia inicial de la ventana del analizador.

(15) **Frecuencia Final:** Muestran el valor de la frecuencia final de la ventana del analizador.

(16) **Resolución AB:** Muestra el valor del ancho de banda del filtro (FI).

3.4 Descripción

(17) Ancho de banda de video: Muestra el ancho de banda de video actual del analizador.

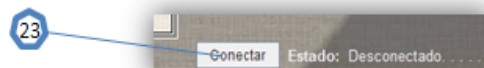
(18) Tiempo de Barrido: Indica el tiempo de barrido configurado en el analizador.

(19) Atenuación: Indica el valor en (dB) de la atenuación del analizador de espectros.

(20) División, escala en Y: Indica el valor de la escala logarítmica del eje "y", en el que se observan las señales.

(21) Línea de Referencia y Slider: Indica el valor de referencia en (dB) a partir del cual se representan las señales en el analizador. Asimismo, el Slider, permite mover la línea de referencia en el plano principal. Solo se modifica dentro de la interface, sin afectar el valor configurado en el analizador.

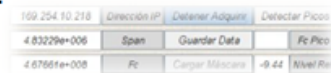
(22) Opciones de Pantalla: Dichos botones tienen la función de graficar en el plano principal los mínimos o máximos detectados, o bien un promedio de ellos. Cuando se desea regresar a la normalidad se utiliza el botón "Reiniciar".



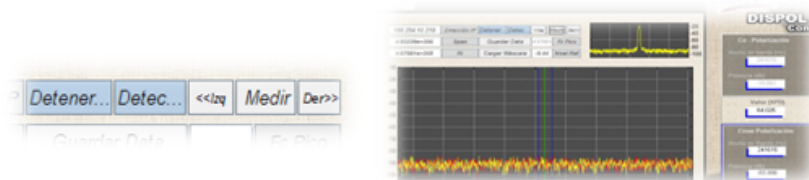
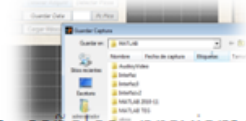
(23) Conectar/Desconectar: Este botón conecta o desconecta la interface con el analizador de espectros.

4.1 Funcionamiento

- Una vez adquirida la señal, automáticamente la aplicación obtendrá los valores del Span, la Frecuencia Central y el valor de referencia, de la señal adquirida.



- Por otro lado, podrá implementar otras características de la aplicación como por ejemplo:
- Guardar la señal que se está visualizando, al presionar el botón de "Guardar Data".
- Cargar Máscara, podrá utilizar las señales previamente guardadas como patrones o máscaras, con el fin de realizar el óptimo comisionamiento de las estaciones terrenas.
- Podrá detectar picos de la señal, presionando el botón "Detectar Picos", y realizar un análisis más detallado de estos, presionando el botón "Medir". La aplicación, le permitirá conocer el ancho de banda del pico, la frecuencia a la que se encuentra con exactitud y su potencia en decibeles.



Apéndice 5. Fotos del Proyecto.

Anexo 6. Estación terrena del tipo VSAT perteneciente a la red satelital de CANTV con capacidad de establecer un enlace con Polarización Cruzada.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7. LNB de una estación terrena tipo VSAT perteneciente a CANTV con capacidad de establecer enlaces satelitales en Polarización Cruzada.



Fuente: Elaboración propia.