



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ingeniería

Operación de la Red de Telefonía Rural en Banda Ku

Tesina que para obtener el título de

Ingeniero en Telecomunicaciones

Presenta

José Angel Sevilla Chávez



Ciudad Universitaria, México D.F.

Febrero de 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, que más allá de ser una institución y la mejor universidad, se ha convertido en mi segundo hogar.

UNAM, te llevaré siempre en mi corazón.

A ti padre, Guillermo Sevilla Olvera, porque has sabido guiarme en cada paso que doy

A ti madre, Guadalupe Chávez Echeverría, por tu alegría, comprensión y cariño

A ustedes hermanos, Armando, Nora y Guillermo, por su ayuda y ejemplo

A mi novia, Adriana Rocha, gracias por ser mi inspiración, te amo

A todos ustedes, porque han sido y serán siempre una parte muy importante de mi vida y la clave de mi éxito

ÍNDICE GENERAL

Objetivo	i
Introducción.....	i
Capítulo 1 Comunicación vía satélite	
1.1 Breve historia de las comunicaciones satelitales	1
1.2 Beneficios de un sistema de comunicación vía satélite	2
1.3 Redes VSAT	4
1.4 Cómo trabaja una red VSAT	5
1.5 Estructura de una red VSAT	6
1.6 Topologías de una red VSAT	10
Capítulo 2 Sistema de Comunicación Móvil MOVISAT	
2.1 Estructura del sistema MOVISAT	12
2.2 Comunicaciones	13
2.3 Red MOVISAT Datos.....	15
2.4 Red MOVISAT Voz	16
2.5 Actividades realizadas en el Sistema de Comunicación Móvil MOVISAT..	17
Capítulo 3 Red de Telefonía Rural en Banda Ku	
3.1 Estación Terrena Maestra.....	38
3.2 Segmento espacial.....	40
3.3 Terminales Satelitales.....	41
3.4 Actividades realizadas en la Red de Telefonía Rural en Banda ku.....	43
Capítulo 4 Conclusiones	56
Referencias	58

Objetivo:

El presente documento tiene por objeto dar una visión general de las redes satelitales con que cuenta Telecomunicaciones de México para ofrecer el servicio de telefonía rural en nuestro país y principalmente presentar las actividades realizadas por el C. José Angel Sevilla Chávez en el programa de servicio social: “Operación de la Red de Telefonía Rural en Banda Ku” realizado en esta institución durante el período comprendido del 16 de agosto de 2006 al 16 de febrero de 2007.

INTRODUCCIÓN

Debido a la necesidad de que en nuestro país existen zonas de difícil acceso para las comunicaciones por medios terrestres, como en el caso de ciudades separadas por desiertos u otros obstáculos naturales, el Gobierno Federal introdujo el servicio telefónico vía satélite en pequeñas comunidades.

La mayoría de estas poblaciones están localizadas en regiones aisladas, con altos índices de pobreza haciendo poco atractivo y difícil el suministro del servicio por parte de la iniciativa privada.

Las aplicaciones a la telefonía rural pueden realizarse en dos modalidades: en granjas aisladas en las que la Terminal se emplea como teléfono privado si las condiciones económicas lo permiten, y en pequeñas poblaciones en que se emplea como teléfono accesible a todo el público.

La SCT establece como meta dotar con un teléfono comunitario, usando la tecnología satelital principalmente en las zonas de orografía más accidentada y que no cuentan con señal de telefonía celular.

Telecomunicaciones de México es el responsable de instalar, operar y dar mantenimiento a los teléfonos rurales satelitales.

Se instala en cada localidad una Terminal Satelital con un teléfono integrado, equipo de regulación de la energía eléctrica y en algunos casos celdas solares.

El Centro Operativo MOVISAT (MOVISAT Voz y MOVISAT Datos) y la red de Telefonía Rural en Banda Ku, son los encargados de prestar el servicio de telefonía rural en nuestro país, haciendo uso de los satélites mexicanos Solidaridad 2 y Satmex V. El Centro Operativo MOVISAT es el encargado de la operación, administración del servicio y de la interconexión de las redes con la Red de Telefonía Pública Conmutada.

En el capítulo 1 del presente trabajo se hace un breve estudio de los beneficios que proporciona una red de comunicación vía satélite, sus ventajas, su configuración y las opciones que hay en nuestro país en cuanto a espacio satelital.

Este capítulo permite establecernos en el tema de ingeniería hacia el cual está enfocado este trabajo, la comunicación vía satélite.

En el capítulo 2 se proporciona una introducción acerca de la red de MOVISAT Voz y MOVISAT Datos, sus características y servicios.

En este capítulo también se presentan las actividades que realicé en esta red, enfatizando las actividades que consolidaron mis conocimientos adquiridos en la escuela y el aprendizaje de nuevas herramientas útiles para mi formación profesional.

En el tercer capítulo se presenta una introducción acerca de la Red de Telefonía Rural en Banda Ku, mencionando sus características y presentando las actividades que realicé en cada área de la red.

Finalmente, se realiza un análisis de las actividades en las que colaboré en estas dos redes y se presentan las conclusiones de este estudio, revisando principalmente la contribución de dichas actividades para mi desarrollo profesional y la importancia de mi desempeño para el correcto funcionamiento de las redes.

CAPÍTULO 1

COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE

1.1 Breve historia de las comunicaciones satelitales

La idea de la transmisión de señales de radio a través del espacio, fue concebida por primera vez en 1911. En 1945 Arthur C. Clarke sugirió el uso de satélites artificiales geosíncronos para este propósito.

En el año de 1957, se inició la era espacial con el lanzamiento del satélite Sputnik 1, y después de varias pruebas con algunos otros satélites en esos primeros años, al fin se colocó en órbita el primer satélite geoestacionario del mundo, llamado SYNCOM. Luego siguieron otros, y poco más tarde había un satélite de la generación INTELSAT III sobre cada uno de los océanos principales intercomunicando al mundo; era ya el año de 1968 y los sueños de Clarke se habían convertido en una realidad, 23 años después de haber publicado sus ideas.

En reconocimiento a su promotor, la órbita en la que residen los satélites geosíncronos recibe el nombre de Cinturón de Clarke. En la actualidad, ésta es la órbita más congestionada alrededor de la Tierra; muchos propietarios de satélites quieren estar ahí, por obvias razones de sencillez y bajo costo de operación. En ella se encuentran satélites de aplicaciones muy diversas: meteorológicos, militares, experimentales, y de comunicaciones.

Cabe destacar que durante el desarrollo del presente trabajo se hará siempre referencia a satélites de comunicaciones y a las redes satelitales que trabajan en conjunto con estos para ofrecer servicios de Telefonía Rural Satelital en nuestro país.

1.2 Beneficios de un sistema de comunicación vía satélite

Como se había comentado anteriormente, en las zonas de difícil acceso en donde el hecho de instalar líneas telefónicas terrestres resulta muy caro o difícil de lograr, y en donde además, la tecnología celular no cubre aún completamente todo nuestro territorio nacional, surge la opción de la comunicación vía satélite, la cual viene a complementar la infraestructura terrestre.

La Telefonía Rural Satelital a diferencia de la Telefonía Pública y de la Telefonía Celular, cubre el territorio nacional en su totalidad.

A continuación se mencionan algunas otras ventajas de la comunicación vía satélite con respecto a otros sistemas de comunicación.

Fiabilidad

La confianza que proporcionan estas redes es muy grande, debido a que hay menor probabilidad de que fallen comparado con una solución terrestre porque trabaja con equipo de redundancia casi en todos los niveles de la comunicación. Una red satelital típicamente ofrece a todos sus usuarios una disponibilidad del 99.95%.

Multicast

A través de una red satelital, además de su uso como red telefónica, se puede enviar una gran cantidad de información en forma de video y datos hacia un largo número de terminales remotas, a diferencia de las redes terrestres que requieren mandar la información de manera separada a todos los puntos donde se quiera transmitir dicho contenido.

Esta característica de las redes satelitales representa una gran ventaja, debido a que se evita el duplicado de la información a transmitir y se maximiza la eficiencia en la utilización del ancho de banda, lo cual también reduce costos.

Seguridad

Estas redes de comunicaciones son mas seguras y privadas que las tecnologías terrestres, convirtiéndolas en la tecnología mas apropiada para agencias gubernamentales, militares y empresas que requieren altos niveles de seguridad. Un ejemplo de esta inseguridad en las redes terrestres es el Internet, donde el tráfico IP viaja a través de muchas computadoras, lo que representa muchos puntos de acceso al tráfico privado.

Las comunicaciones por satélite, minimizan estos puntos de acceso, además de que la información puede ser encriptada usando algoritmos avanzados para evitar que la información sea traducida por alguna persona ajena a la red.

Aspectos económicos

Las redes satelitales son mucho menos costosas en mantenimiento y operación en muchos aspectos con relación a las tecnologías de redes terrestres. Las redes terrestres requieren infraestructura pesada, si son redes telefónicas (cable, fibra óptica, torres de microondas) o si son redes de datos (xDSL, ISDN y cable).

En áreas remotas, el hecho de llevar estas redes es bastante caro, en cambio, en el caso de las redes satelitales lo único necesario es una Terminal Satelital, –la cual será explicada más adelante- lo cual es significativamente más barato, además de que estas terminales trabajan con un bajo consumo de potencia y pueden hacer uso de celdas solares.

Rápido desarrollo e instalación

Estas redes pueden crecer de una manera muy rápida y en gran número, desde cientos a miles en una pequeña fracción de tiempo en comparación con lo que sería con una red terrestre.

Flexibilidad

La tecnología VSAT puede soportar una gran cantidad de componentes y aplicaciones, puede proveer desde comunicaciones de voz, fax y video, hasta aplicaciones IP multicasting.

1.3 Redes VSAT

Las redes Very Small Aperture Terminal (en adelante redes VSAT, por sus siglas en inglés) son redes privadas de comunicación de datos vía satélite para intercambio de información punto-punto, punto-multipunto (broadcasting) o interactiva.

Sus principales características son:

- Redes privadas diseñadas a la medida de las necesidades de las compañías que las usan.
- Permiten la transferencia de datos, voz y vídeo.
- Las antenas instaladas en la Terminal VSAT son de reducidas dimensiones (diámetros menores de 2.4 [m]).
- La capacidad de la red suele ser del orden de decenas de kbps, valores típicos son 56 o 64 [kbps].
- Las bandas más comúnmente usadas son la banda C (cobertura global) y la banda Ku (cobertura en Europa, Norte América y Pacífico).
- La red puede tener gran densidad (1000 estaciones VSAT) y está controlada por una estación central llamada HUB que organiza el tráfico entre terminales, y optimiza el acceso a la capacidad del satélite.

Algunas de las aplicaciones de las redes VSAT son las siguientes:

Aplicaciones civiles:

- Difusión de noticias.
- Educación a distancia.
- Transmisión de datos de una red de comercios.
- Videoconferencia de baja calidad.
- Comunicaciones de voz.
- Consulta a bases de datos.
- Monitorización de ventas.
- Transacciones bancarias y control de tarjetas de crédito.

Aplicaciones militares:

Las redes VSAT han sido adoptadas por diferentes ejércitos. Gracias a su flexibilidad, son idóneas para establecer enlaces temporales entre unidades del frente y el HUB que estaría situado cerca del cuartel general. La topología más adecuada es la de estrella. Se usa la banda X, con enlace de subida en la banda de 7.9-8.4 [GHz] y con el de baja en la banda de 7.25-7.75 [GHz].

1.4 Cómo trabaja una red VSAT

Las VSAT's se conectan por medio de enlaces de radiofrecuencia vía satélite. El enlace que va de la Terminal al satélite se denomina uplink o enlace ascendente; el que va del satélite a la Terminal se llama downlink o enlace descendente; y al enlace total de estación a estación, es decir, uplink más downlink, se le suele llamar hop o salto.

El proceso seguido es el siguiente: las portadoras del uplink llegan al satélite, que las amplifica, las traslada en frecuencia a una banda más baja para evitar interferencias y transmite las portadoras amplificadas. Esto lo hacen a través de un satélite geoestacionario que está orbitando en el plano ecuatorial, con lo que el satélite está disponible para su uso las 24 horas del día.

El satélite retransmite las portadoras que envía una VSAT hacia otra VSAT de la red, pero existen algunos problemas:

- Atenuaciones de 200 [dB] entre el uplink y el downlink, debido a la enorme distancia que hay al satélite.
- La potencia de radiofrecuencia del satélite está limitada, típicamente a unas decenas de watts.
- El pequeño tamaño de las antenas de las VSAT's limita la potencia transmitida.

La solución a estos problemas es instalar en la red una estación más grande que la VSAT, llamada HUB, que tiene una antena más grande (de 4 a 11 [m]), con la que obtenemos una mayor ganancia y una transmisión de mayor potencia.

Los enlaces de las VSAT's al HUB se llaman "inbound", los del HUB a las VSAT's se llaman "outbound", y cada uno de estos enlaces tiene uplink y downlink, pasando por el satélite.

Por lo tanto, para comunicar una VSAT con otra VSAT, el camino recorrido será: de la VSAT transmisora al satélite, del satélite al HUB, del HUB de nuevo al satélite, y del satélite a la VSAT receptora.

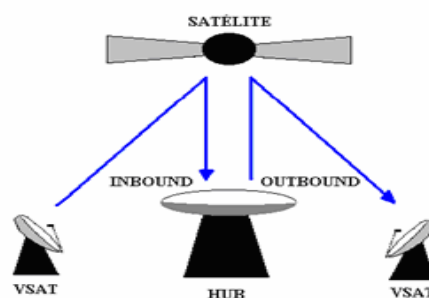


Figura 1.1 Flujo de información en una red VSAT

1.5 Estructura de una red VSAT.

Los elementos que componen una red VSAT son fundamentalmente tres:

- La estación HUB.
- El segmento espacial.
- Las Terminales VSAT.

Anteriormente, ya estudiamos la importancia de las comunicaciones satelitales, a continuación se da una breve explicación de la estructura y función que cumple cada uno de los componentes de la red satelital y principalmente el HUB como punto central de la red.

La estación HUB.

El HUB es una estación más dentro de la red, pero con la particularidad de que es más grande (la antena típicamente es de 4 a 11 metros y maneja más potencia de emisión). Habitualmente el HUB está situado en la sede central de la empresa que usa la red.

Las topologías en estrella incorporan el HUB para coordinar las transmisiones y para proporcionar acceso a un usuario central. El HUB representa una mayor inversión, por lo que una decisión a tomar es si el HUB se tendrá en propiedad o si por el contrario será en alquiler.

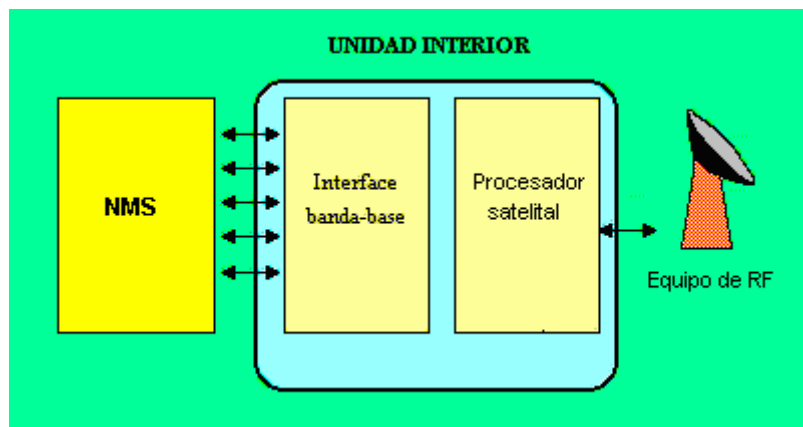


Figura 1.2 Diagrama de bloques de una estación HUB

Los componentes que forman parte del HUB incluyen múltiples elementos que controlan los dos canales de comunicación a través de la antena, encargados de establecer protocolos de comunicación. A continuación se nombran los elementos principales del HUB:

Equipo de RF.

La unidad de RF se encarga de transmitir y recibir las señales. Estas señales son manipuladas por esta unidad para que tengan la frecuencia y potencia ideal para su transmisión y su recepción.

Unidad interior.

Esta unidad puede estar conectada a la computadora que se encarga de administrar la red corporativa. Esta conexión puede ser directa o bien a través de una Red Pública Conmutada o una línea privada dependiendo de si el HUB es propio o compartido.

Network Management System

Desde el HUB se monitorea toda la red de VSAT's. De ello se ocupa el Network Management System (en adelante NMS, por sus siglas en inglés). El NMS es una estación de trabajo que realiza diversas tareas como:

- Control y alarma.
- Monitoreo del tráfico.
- Habilitación y deshabilitación de terminales existentes.
- Inclusión de nuevas terminales.
- Tareas administrativas.
- Inventario de las terminales.
- Mantenimiento.

Por lo que se ve gran parte del éxito de una red VSAT radica en la calidad del NMS y en su respuesta a las necesidades de los usuarios.

Segmento espacial.

En el aspecto espacial, para la instalación de redes VSAT se usan:

- Satélites geoestacionarios.
- Bandas de frecuencias específicas para aplicaciones VSAT.

El segmento espacial es el punto clave de una red VSAT. Es el único canal por donde se realiza la comunicación con las consiguientes ventajas y desventajas que ello conlleva.

Es un canal compartido por lo que necesitaremos usar alguna técnica o protocolo de acceso al medio (FDMA, TDMA, etc.).

Es el único punto de la red que no puede ser manejado con total libertad por el instalador de la red VSAT. Debe ser contratado a empresas o consorcios proveedores de capacidad espacial.

Necesidad de satélites geoestacionarios.

Un satélite geoestacionario tiene una órbita circular en el plano ecuatorial a una altura de aproximadamente 36,000 [km] de periodo igual al de rotación de la Tierra, por lo que desde la Tierra se le ve siempre en la misma posición.

Por lo tanto, el uso de satélites geoestacionarios es crucial para que el coste de los equipos VSAT sean bajos. Al ser geoestacionarios no es preciso que los equipos terrestres lleven un sistema de seguimiento. Durante la instalación del equipo se realiza el apuntamiento de la antena, la cual quedará fija durante el periodo de su vida útil.

Elección de la banda de frecuencia a usar:

La elección de una frecuencia u otra depende de:

- La disponibilidad de un satélite que cubra la zona donde va a instalarse la red y que disponga de la banda deseada.
- Problemas de interferencias. El ancho de haz de una antena es inversamente proporcional al producto del diámetro de la antena y la frecuencia. Por lo que al usar antenas de pequeño diámetro el ancho de haz es grande y el peligro de recibir interferencia desde otros satélites (y también de interferir en ellos) es también grande. Para la banda C (y partes de la banda Ku) existe el peligro añadido de los sistemas terrestres de microondas.

Debido a las consideraciones anteriores, habrá que tomar en cuenta las ventajas y desventajas de cada una de estas bandas:

	Ventajas	Desventajas
Banda C	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad mundial. - Tecnología barata. - Robustez contra atenuación por lluvia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Antenas grandes (de 1 a 3 metros). - Susceptible de recibir y causar interferencias desde satélites adyacentes y sistemas terrestre que compartan la misma banda (Se necesitaría en algunos casos recurrir a técnicas de espectro ensanchado y CDMA).
Banda Ku	<ul style="list-style-type: none"> - Uso mas eficiente de las capacidades del satélite ya que, al no estar tan influenciado por las interferencias, se puede usar técnicas de acceso mas eficientes como FDMA o TDMA frente a CDMA que hace un uso menos eficaz del ancho de banda. - Antenas mas pequeñas (0.6 a 1.8 metros). 	<ul style="list-style-type: none"> - Hay regiones donde no está disponible. - Más sensible a las atenuaciones por lluvia. - Tecnología más cara.

Tabla 1.1 Comparación de ventajas y desventajas al utilizar banda Ku y banda C en redes VSAT.

Terminales satelitales.

Las Terminales Satelitales VSAT son componentes de la red satelital, que son utilizadas para recibir y transmitir información vía satélite, éstas están formadas por dos equipos separados:

- Unidad Exterior (en adelante ODU, por sus siglas en inglés), que es la interfaz entre el satélite y la VSAT.
- Unidad Interior (en adelante IDU, por sus siglas en inglés), que es la interfaz entre la VSAT y la Terminal de usuario. Esta unidad es conectada a la ODU mediante un par de cables de tipo coaxial.

1.6 Topologías de una red VSAT.

La topología de estrella es la manera más sencilla en la que se puede configurar una red satelital.

Sin embargo, existe un factor que afecta su desempeño. Recordemos que en órbitas geoestacionarias un satélite se encuentra aproximadamente a 36,000 [km] sobre la Tierra; esto significa que hay un problema con el tiempo de transmisión, debido a la distancia que tiene que viajar la información de un lugar a otro.

A través de un satélite geoestacionario se produce un retardo promedio de un cuarto de segundo en un solo salto, es decir, en el caso en el que la información generada desde una Estación Terrena llega al satélite y posteriormente es recibida por otra Estación Terrena.

Si la transmisión de información va desde una VSAT a otra, en una topología de estrella, se requiere transmitir dos veces hacia el satélite, primero de la VSAT transmisora hacia el HUB y desde éste hacia la VSAT receptora, produciéndose así un retardo promedio total de medio segundo.

Este retardo no significa un gran problema cuando se transmiten datos de una computadora a otra, además, una topología de estrella te permite usar antenas pequeñas para las VSAT's y más bajos niveles de potencia para transmitir, debido a que se están comunicando con una gran antena en la parte del HUB.

Sin embargo, esta topología de estrella presenta inconvenientes en servicios de voz, en donde el retardo llega a ser notable.

Por lo tanto, una topología de este tipo se recomienda cuando se hacen comunicaciones en un solo paso por el satélite, o cuando en un enlace de VSAT a VSAT no se requiere una respuesta inmediata y el retardo no es un factor que pueda afectar el servicio.

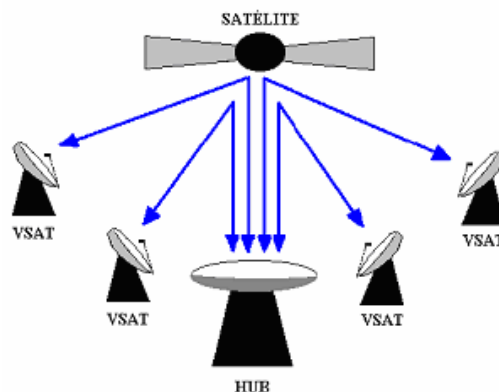


Figura 1.3 Topología de estrella

Las redes en estrella surgen por la necesidad de requisitos de potencia, que no se cumplirían con el reducido tamaño de las antenas y con la limitación de potencia del satélite, y sí al incluir el HUB.

Topología de Malla

Cuando es posible establecer un enlace directo entre dos VSAT's (cuando aumenta el tamaño de las antenas o la sensibilidad de los receptores) hablamos de redes VSAT en malla.

Las redes en malla se utilizan cuando hay otros requisitos, tales como el retardo de propagación, el cual, como lo comentamos anteriormente es de 0.5 segundos para un doble salto, y de 0.25 segundos para un solo salto.

La topología de malla provee a las VSAT's la capacidad de comunicarse directamente con otra VSAT de la red sin necesidad de pasar por un HUB central, minimizando de esta manera el retardo en las comunicaciones.

Esto significa, por ejemplo, que en una conversación telefónica en la que hay una comunicación de VSAT a VSAT, el retardo únicamente es de un cuarto de segundo, lo cual se vuelve imperceptible para la mayoría de la gente.

El inconveniente de esta topología de red es que resultan necesarias antenas de mayor tamaño y una mayor potencia de transmisión, lo cual lleva consigo un aumento de costos.

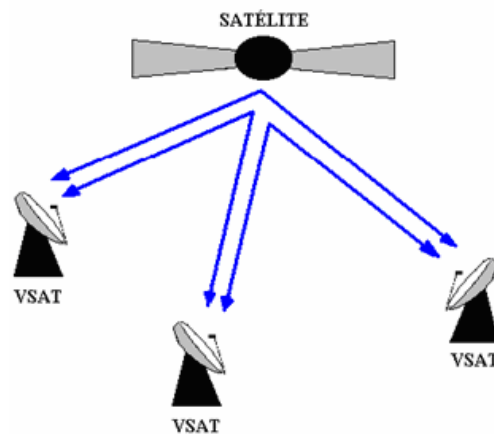


Figura 1.4 Topología de malla.

CAPÍTULO 2

SISTEMA DE COMUNICACIÓN MÓVIL MOVISAT

2.1 Estructura del sistema MOVISAT.

Con los avances en materia de telecomunicaciones, en México fue indispensable participar en el desarrollo de nuevas tecnologías en el campo de las comunicaciones móviles y formar parte de los sistemas satelitales móviles del mundo. Para este propósito se incluyó un transpondedor en banda L en cada uno de los satélites Solidaridad para permitir el aprovechamiento de la potencialidad de dicha banda en el establecimiento de diversos servicios.

Telecomunicaciones de México a través de la Subdirección Técnica de Comunicación Móvil y Rural Satelital opera el sistema MOVISAT.

MOVISAT es un sistema de comunicación satelital que está formado por dos redes de telecomunicaciones que operan con un satélite geoestacionario, haciendo uso del rango de la banda "L" del espectro radio-eléctrico del sistema de satélites mexicanos Solidaridad (actualmente solo en uso el Solidaridad 2), utilizando su transpondedor de banda L y su transpondedor de banda Ku (5k) y se convierte en una opción para la Telefonía Rural, además de brindar otros servicios.

Este sistema hace uso de la tecnología VSAT y utiliza una red en topología de estrella para el establecimiento de sus comunicaciones.

Las redes proporcionan servicio de comunicaciones móviles y semifijas de voz (MOVISAT Voz) y datos (MOVISAT Datos), desde o hacia cualquier punto del territorio nacional mexicano, incluyendo su mar patrimonial.

El Sistema MOVISAT, por ser un sistema de comunicación vía satélite está constituido por los siguientes elementos:

1. El segmento terrestre, constituido por:
 - Estación Terrena Maestra o Centro de control.
 - Terminales Móviles.
2. El segmento espacial, constituido por:
 - El satélite, y
 - El centro de control de éste.

2.2 Comunicaciones

Con la pérdida del satélite Solidaridad 1 en agosto del 2000 se perdió la mitad de la capacidad de la banda "L" asignada a Telecomunicaciones de México.

Las comunicaciones entre la Estación Terrena Maestra y las Terminales Móviles se realizan a través de dos enlaces satelitales utilizando el satélite Solidaridad 2.

Como se había mencionado anteriormente, la Red MOVISAT tiene la capacidad de dar servicio a lo largo de toda la extensión de la República Mexicana y parte de su mar patrimonial.

Esto se logra gracias a la cobertura que tiene el satélite Solidaridad 2, el cual es utilizado por la red a través de su transpondedor en banda Ku/L (Forward) y uno en banda L/Ku (Return). El transpondedor en banda L está a cargo del sistema MOVISAT; para el caso del transpondedor en banda Ku (5K) de 54 [MHz], de éste sólo se tiene derecho al 50 % en su primera mitad, es decir, los primeros 27 [MHz].



Figura 2.1 Cobertura del sistema MOVISAT

Enlace de ida.

El enlace de ida es originado desde la Estación Terrena Maestra hacia las Terminales Móviles. Está compuesto a su vez por dos enlaces:

- Enlace ascendente de ida: Enlace en banda Ku entre la Estación Terrena Maestra y el Satélite.
- Enlace descendente de ida: Enlace en banda L entre el Satélite y las Terminales Móviles.

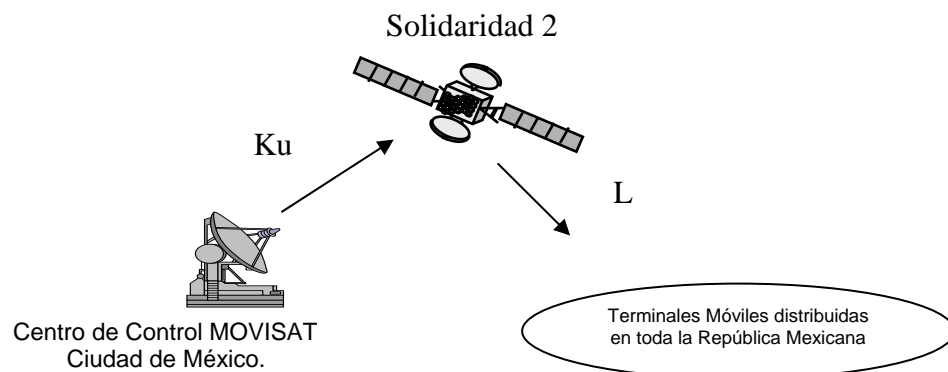


Figura 2.2 Enlace de ida, red MOVISAT.

Enlace de regreso:

El enlace de Regreso es originado desde las Terminales Móviles hacia la Estación Terrena Maestra. Está compuesto a su vez por dos enlaces:

- Enlace ascendente de regreso: Enlace en banda L entre las Terminales Móviles y el Satélite.
- Enlace descendente de regreso: Enlace en banda Ku entre el Satélite y la Estación Terrena Maestra.

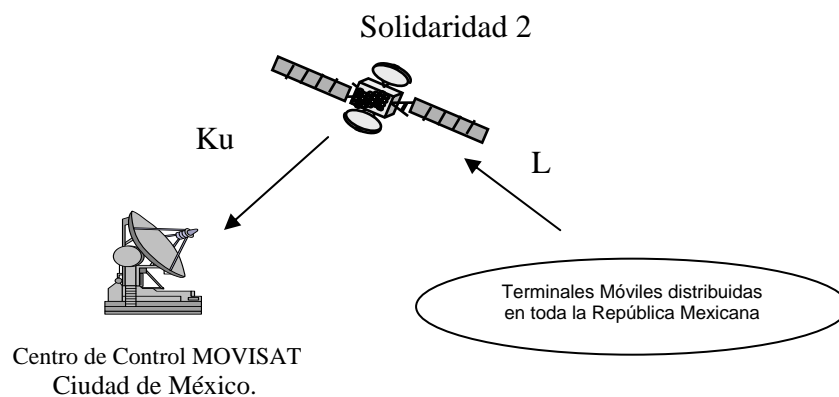


Figura 2.3 Enlace de Regreso, red MOVISAT

2.3 Red MOVISAT Datos

Es un servicio que permite la comunicación móvil de datos a baja velocidad en forma bidireccional, transferencia de mensajes, pruebas de verificación de la Terminal, monitoreo remoto, entre otros.

Características y Servicios:

- Sistema de almacenamiento y envío.
- Reintento automático de entrega de mensajes.
- Mensajes multidestino.
- Confirmación de entrega de mensajes.
- Intercambio de mensajes entre :
 - Móvil - fijo
 - Fijo - móvil
 - Móvil - móvil
- Este servicio puede interconectarse con los centros de despacho a través de las redes:
 - Telefonía pública (PSTN).
 - Internet IP.
- Llamadas a grupos de Terminales Móviles en un área geográfica específica.
- Pruebas de verificación de la Terminal.

2.4 Red MOVISAT Voz

Es un servicio que permite la comunicación móvil de voz, complementa con su cobertura a la telefonía móvil terrestre y se convierte en una opción para la telefonía en zonas geográficas remotas e inaccesibles y carentes de infraestructura de comunicaciones.

Esta red permite el establecimiento de mensajes de voz en tres direcciones:

- Móvil - fijo
- Fijo - móvil
- Móvil - móvil

Las redes MOVISAT están constituidas por los siguientes elementos principales:

Centro de Operaciones de Red.

Es responsable de la administración y control de los recursos, incluye las bases de datos de administración de los recursos espaciales, así como también de los recursos terrestres.

Monitor de Radio Frecuencia.

El Monitor de Radio Frecuencia monitorea el espectro de RF de banda L y Ku recibido y transmitido en el sitio.

Terminales de usuario.

Las Terminales accesan al sistema de servicio móvil a través de la señal del satélite. Dentro de esta señal hay uno o más canales de señalización para control de la red y establecimiento de llamada, un piloto compensado en frecuencia para adquisición del satélite y estabilización de frecuencia, y un número de canales de comunicación que proveerán los servicios a las Terminales.

Las comunicaciones de estas redes de telecomunicaciones son realizadas y establecidas entre: Terminales Móviles, desde una Terminal Móvil hacia la Red Telefónica Pública Conmutada y desde la Red Telefónica Pública Conmutada hacia una Terminal Móvil.

2.5 Actividades realizadas en el Sistema de Comunicación Móvil MOVISAT

Supervisión de los equipos de Frecuencia Intermedia y Radiofrecuencia.

La red MOVISAT tiene un área de entrada y salida de señales en frecuencia intermedia que está interconectado con otra área de transmisión y recepción de señales de radiofrecuencia.

En cada una de estas áreas se realiza una parte importante del proceso de dichas señales para hacer posible y eficiente su transmisión, así como el proceso inverso, para convertir las radiaciones recibidas en una reproducción fiel de las señales en la forma que tenían antes de que fueran procesadas y transmitidas por otra Estación Terrena.

Con el fin de verificar que los equipos de la Estación Terrena trabajaran correctamente y que sus parámetros fueran los correctos, diariamente llenaba el formato llamado: "Cambio de Turno RF, Cambio de Turno FI", el cual engloba los equipos de ambas áreas.

A continuación nombraré cada uno de estos equipos y explicaré su función, así como su importancia como parte integral de la red.

Con la finalidad de que podamos observar cada uno de los componentes de la red y establecer una relación entre ellos, se presenta el diagrama de bloques correspondiente al área de FI (figura 2.4) y el diagrama del área de RF (figura 2.5).

Área de Frecuencia Intermedia.

- ***Transmisión***

Convertidores de bajada

Los moduladores encargados de procesar la información, generan portadoras de voz y datos en el rango de frecuencia de 1,220 hasta 1,470 [MHz].

La función de los convertidores de bajada es recibir las señales provenientes de los moduladores y trasladarlas a una frecuencia intermedia nominal de 70 [MHz] para así transportarlas al área de radiofrecuencia.

Amplificador dual

Proporciona la ganancia necesaria a las señales provenientes de los convertidores de bajada, para que lleguen con buena calidad al área de radiofrecuencia.

- **Recepción:**

Convertidores de subida

Son los encargados de desplazar en frecuencia la información proveniente del área de radiofrecuencia (70 [MHz]) a la frecuencia de banda L (1,220 a 1,470 [MHz]). Con esto se garantiza que los demoduladores acepten las señales en el rango de frecuencia en el cual trabajan.

Amplificadores de estado sólido

Los amplificadores de estado sólido (en adelante SSPA's, por sus siglas en inglés), se encargan de dar el nivel de potencia necesario a la información proveniente del área de radiofrecuencia para que llegue con buena calidad a los demoduladores.

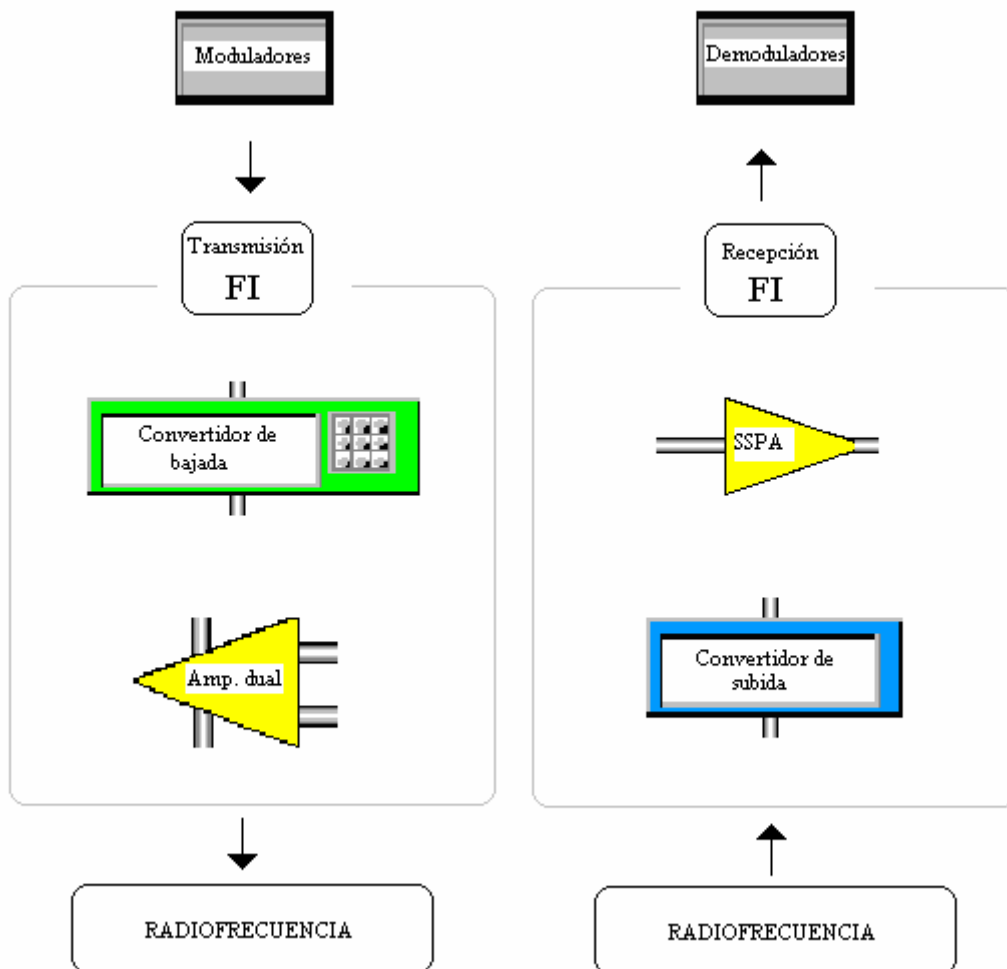


Figura 2.4 Área de Frecuencia Intermedia de la red MOVISAT.

Área de Radiofrecuencia.

- **Cadena ascendente del enlace de ida**

Sistema de Control de Potencia en el Enlace Ascendente

El Sistema de Control de Potencia en el Enlace Ascendente (en adelante UPC, por sus siglas en inglés), se encarga de compensar las atenuaciones sufridas en las señales debidas al clima, esta unidad cuenta con una opción manual y otra automática.

Diariamente verificaba el estado de este equipo y su comportamiento en cuanto al nivel de compensación.

Convertidor de subida de banda C

El convertidor de FI a banda C, recibe las señales provenientes del área de frecuencia intermedia y se encarga de realizar un traslado en la frecuencia hacia la banda C. En este equipo, verificaba que el factor de conversión de frecuencia se mantuviera en el valor que fue calculado durante el diseño de la red.

Generador piloto de banda C

Encargado de generar una portadora limpia. Durante su viaje por el canal de comunicación, esta señal y todas las demás en la red, sufrirán una variación en su frecuencia debido a ciertos efectos provocados en el medio, así que esta señal sirve como referencia al receptor piloto de banda L para saber la diferencia en frecuencia entre la señal transmitida y la recibida y de este modo compensar dichas diferencias.

Trasladador de banda C a banda Ku

Cabe mencionar que de acuerdo al diseño de esta red, son necesarios dos convertidores de subida, lo cual no sucede en otras redes. Este trasladador va a colocar las señales finalmente en la banda Ku para que sean amplificadas y enviadas a la antena y posteriormente al satélite.

Amplificador de Potencia

El amplificador de Potencia tipo Klystron (en adelante HPA, por sus siglas en inglés), maneja un rango de frecuencias de banda Ku de subida, otorgando una ganancia mínima de 80 [dB]. Este HPA se encarga de la amplificación de las señales para que sean recibidas fielmente por el satélite.

En este equipo verificaba que sus parámetros desplegados en su display, tal como voltajes y corrientes en algunos de sus componentes se mantuvieran estables.

Antena de banda Ku y Unidad de Control de Antena.

La antena de esta red es de tipo Cassegrain marca Vertex de 7.2 metros, a la cual las portadoras llegan por medio de guía de ondas provenientes del HPA y son transmitidas fielmente hacia el satélite.

En el caso de la antena, verificaba su estado en la Unidad de Control de Antena, supervisando que realizara la búsqueda del satélite mediante los movimientos automáticos de su posición en tres parámetros: azimut, elevación y polarización.

- ***Cadena descendente del enlace de ida***

Convertidor de bajada de banda L

Una vez que las señales llegaron al satélite en banda Ku, éste las traslada a banda L y por medio de una antena de esta banda se recibe en la Estación Terrena. El convertidor de bajada de banda L traslada en frecuencia las portadoras que recibe para que la información llegue correctamente al área de frecuencia intermedia.

Receptor piloto de banda L.

Este equipo se encarga de recibir la portadora proveniente del generador piloto de banda C y determina el desplazamiento en frecuencia que sufre la señal.

El receptor piloto en banda L envía la información de la variación al convertidor de subida en banda C, el cual revisa este valor y realiza la compensación de frecuencia necesaria. Este proceso es conocido como: Sistema de Compensación Automática de Frecuencia en el Enlace de Ida.

- ***Cadena ascendente del enlace de regreso.***

Generador piloto de banda L

Este equipo forma parte del Sistema de Compensación Automática de Frecuencia en el Enlace de Regreso y su trabajo es generar una portadora limpia que será recibida por el receptor piloto en banda C para observar las variaciones de la portadora ocurridas en su paso por el canal de comunicación.

SSPA

Es el encargado de otorgar la ganancia necesaria a las señales en banda L para que sean recibidas correctamente por el satélite en este rango de frecuencia.

- ***Cadena descendente del enlace de regreso***

Receptor de la señal de beacon.

Continuamente el satélite envía una señal llamada beacon, la cual es de apoyo para este equipo, el cual convierte el nivel de esta señal en una señal de corriente directa (CD), que envía al controlador de antena para que éste la utilice como un parámetro de referencia al realizar el rastreo del satélite.

Así mismo, este equipo envía esta misma señal de CD al UPC, que utiliza la variación del nivel de esta señal para variar en la proporción inversa la potencia de transmisión.

Traslador de banda Ku a banda C.

Una vez que la señales provenientes de banda L han pasado a través del satélite y éste ha hecho la conversión a banda Ku de bajada, éstas son recibidas en la antena por medio de su amplificador de bajo ruido y enviadas a esta unidad, la cual hace un corrimiento en la frecuencia de las señales hacia la banda C.

Convertidor de bajada de banda C.

Una vez que las señales están en banda C, este equipo es el encargado de enviarlas a la frecuencia en la que trabaja el equipo de Frecuencia Intermedia para su posterior tratamiento y enrutamiento. En este equipo, también verificaba que el factor de conversión de frecuencia se mantuviera en el valor que fue calculado durante el diseño de la red.

Receptor Piloto de banda C.

Este equipo es parte importante en el Sistema de Compensación del Enlace de Regreso, recibe la señal piloto enviada por el generador de Piloto de banda L y revisa la variación de frecuencia. Esta variación de frecuencia es enviada al convertidor de bajada en banda C, el cual se encarga de hacer las compensaciones necesarias.

A manera general, durante el desarrollo de esta actividad verificaba que cada uno de estos componentes mencionados anteriormente se mantuviera en correcto funcionamiento, que conservaran sus parámetros de diseño y que el equipo de redundancia que tiene cada uno de ellos y su conmutador -si fuera el caso- estuvieran listos para reemplazar al equipo principal en caso de alguna eventualidad.

Cabe mencionar que gracias al desarrollo de estas actividades, a la lectura y estudio de diagramas de la Estación Terrena Maestra, pude comprender mejor la estructura de la red, la función que cumple cada uno de sus componentes y el flujo y tratamiento que se le da a la información a través de cada elemento.

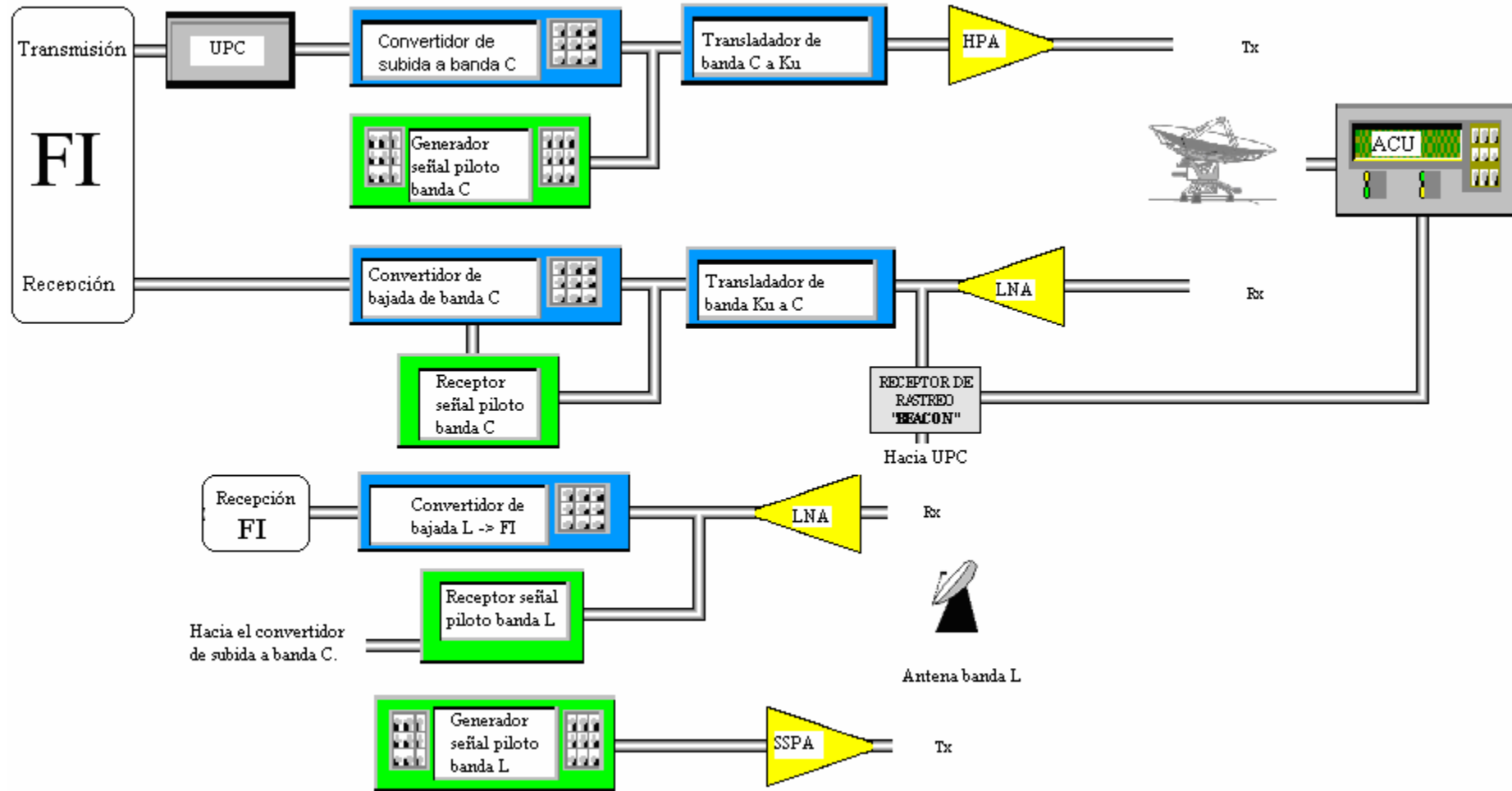


Figura 2.5 Estructura del Área de Radiofrecuencia de la red MOVISAT.

Revisión de cadenas para cambio de tráfico en el área de Frecuencia Intermedia, Sitio 1

Anteriormente pudimos ver la configuración de la red MOVISAT, de la cual podemos identificar tres áreas principales, que a continuación son mencionadas:

El área encargada de realizar la modulación y multiplexaje de las señales y en caso contrario la demodulación y el demultiplexaje.

El área de Radiofrecuencia, que traslada la información hacia una frecuencia en banda Ku y proporciona la amplificación necesaria para que la información llegue al satélite o en su defecto, envía la señal recibida en banda Ku a una frecuencia intermedia nominal de 70 [MHz].

Por último, el área de Frecuencia Intermedia (FI), la cual forma el enlace entre las dos áreas anteriores para hacer los traslados necesarios en frecuencia y cada una reciba la información en la frecuencia requerida.

Cabe mencionar que cada una de estas áreas tiene un respaldo como elemento de redundancia en caso de cualquier eventualidad.

Debido a lo anterior, en cada área se tienen consideradas dos sub áreas, a las cuales les llamaremos sitio 1 y sitio 2.

En el área de Frecuencia Intermedia, como parte de los procedimientos para el mantenimiento de su sitio 2, se requería cambiar el tráfico hacia el sitio 1.

Con el objetivo de no afectar las comunicaciones, y no variar considerablemente los niveles de potencia de las señales, se analizó cada uno de los elementos del sitio 1 y se comparó con el sitio 2 que era el sitio activo.

Como parte de esta actividad, me correspondió hacer el análisis de la cadena de transmisión. Para realizar esta verificación, se monitorearon directamente un par de portadoras de voz generadas por los moduladores.

Verifiqué junto con el personal de esta área que las dos señales de voz estuvieran dentro de sus niveles promedio de frecuencia y de potencia en su camino por el bloque de FI y que los equipos de redundancia trabajaran correctamente, tal como lo hacían los equipos que estaban en activo; estos parámetros fueron medidos con la ayuda de un analizador de espectros y las lecturas que realizamos se muestran en la siguiente carta de niveles.

CARTA DE NIVELES

COMO PARTE DE LOS TRABAJOS DE MANTENIMIENTO A LOS EQUIPOS DE FI
CONTRATO 87/2004

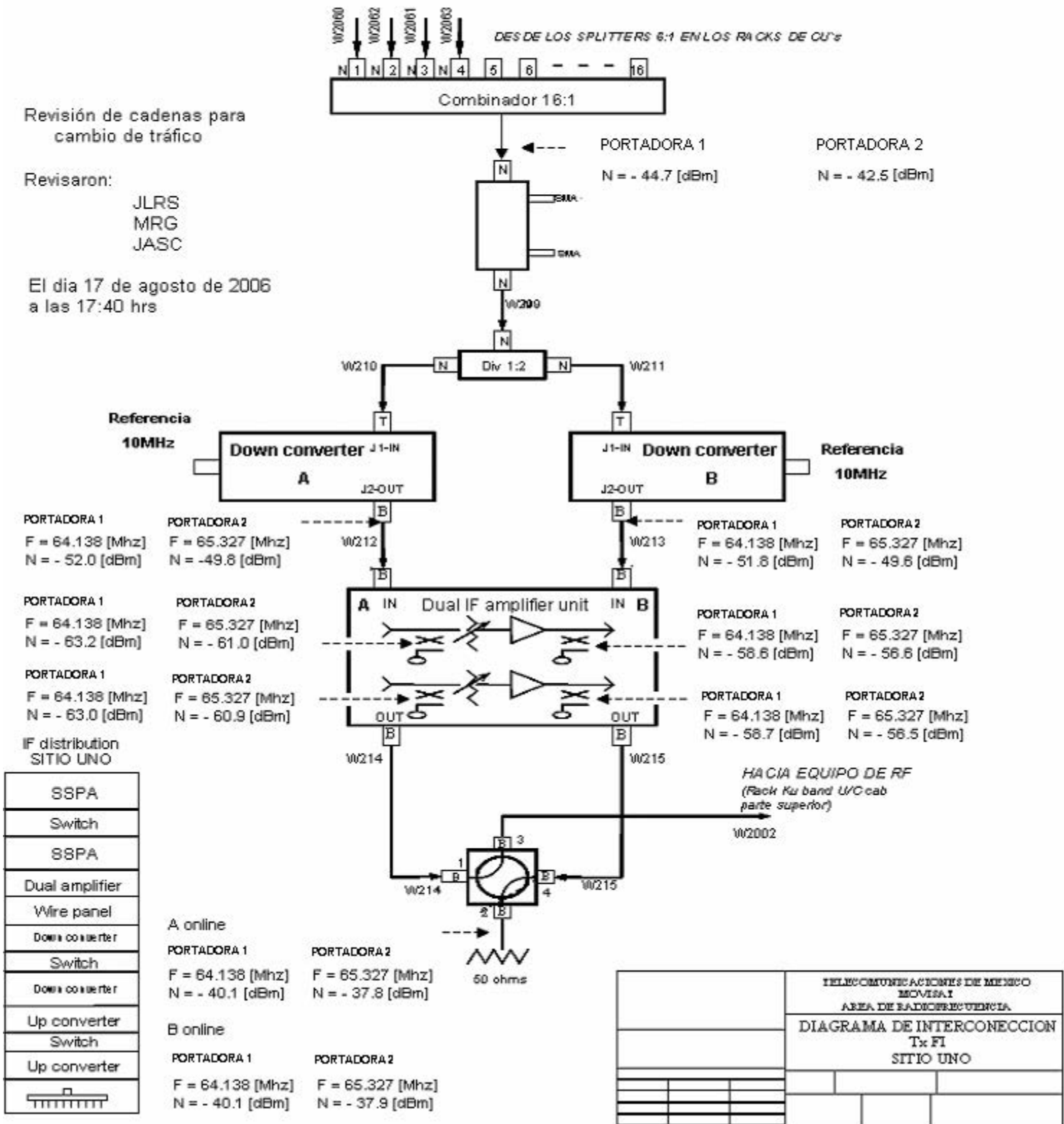


Figura 2.6 Carta de Niveles del área de Frecuencia Intermedia, transmisión, Sitio 1.

De acuerdo a las lecturas de frecuencia y de potencia que se presentan en la carta de niveles, se determinó que los valores de estos parámetros generados en el sitio 1 eran equivalentes a los encontrados en el sitio 2 y por lo tanto a los valores correspondientes de diseño, con lo cual solo tuvimos que ajustar un poco la ganancia del amplificador dual para obtener los valores exactos.

Una vez realizados estos ajustes, se podía hacer el cambio del tráfico de un sitio al otro sin ningún inconveniente.

Sin embargo, para hacer un estudio más minucioso, se determinó analizar la respuesta en frecuencia de cada uno de los elementos que componen el sitio 1.

De la misma manera, me correspondió realizar el análisis de los elementos que componen la cadena de transmisión, el cual presento a continuación:

Análisis de la respuesta en frecuencia de los convertidores de bajada.

Habíamos mencionado anteriormente, que en la transmisión, la información de los moduladores con una frecuencia de entre 1,220 [MHz] y 1,470 [MHz], llega a los convertidores de bajada, los cuales la trasladan a una frecuencia intermedia de 70 [MHz].

Teniendo esto en cuenta, se generó una señal de entrada mediante un sintetizador de frecuencia en este rango de frecuencias y con un nivel de potencia de - 52 [dBm] para observar que en realidad estuviera haciendo el traslado correcto. En la figura 2.7, podemos observar la señal de entrada que se generó para verificar la respuesta en frecuencia de los convertidores mencionados.

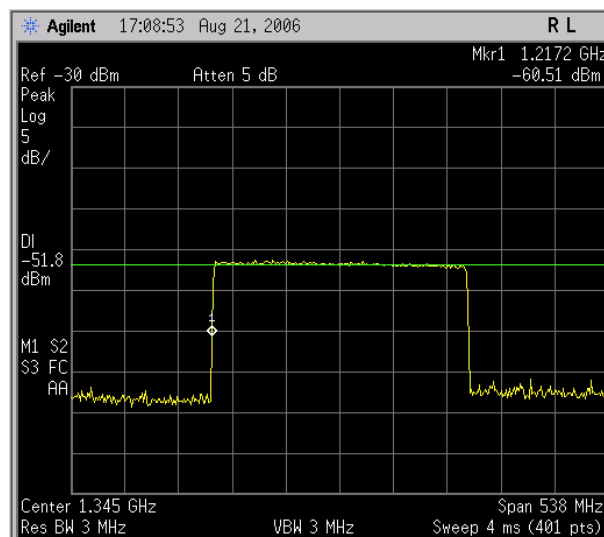


Figura 2.7 Señal de entrada para el análisis de la respuesta en frecuencia de los convertidores de bajada del área de FI, Sitio 1.

Convertidor de bajada A.

En la figura de abajo, observamos la respuesta del convertidor de bajada A y podemos determinar que está trabajando correctamente, debido a que la frecuencia de salida está dentro del rango de 50 [MHz] y 90 [MHz], que eran los valores esperados debido a que este es el rango de frecuencias que le debe proporcionar este equipo al amplificador dual para que trabaje correctamente.

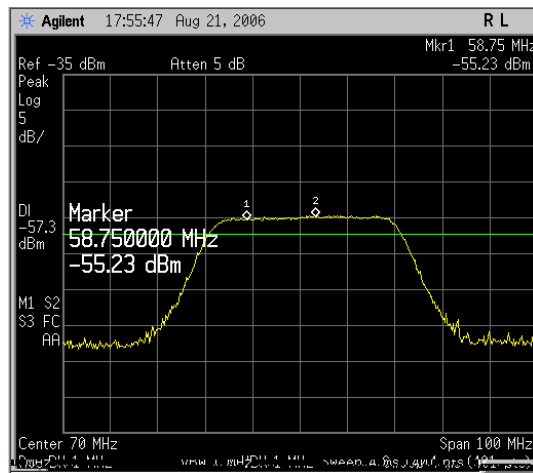


Figura 2.8 Respuesta en frecuencia del convertidor de bajada A del área FI, sitio 1.

Convertidor de bajada B.

De la misma manera en la que se analizó el convertidor A, analizamos su convertidor redundante, y en este caso también podemos observar en su respuesta en frecuencia que se encuentra dentro de los rangos requeridos, lo cual nos indica que ambos elementos están trabajando correctamente.

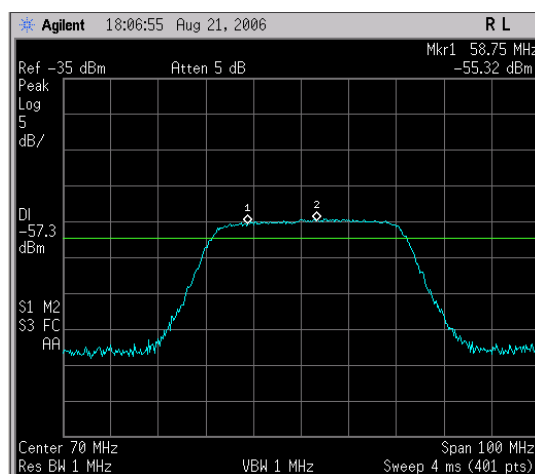


Figura 2.9 Respuesta en frecuencia del convertidor de bajada B del área FI, Sitio 1.

Análisis de la respuesta en frecuencia del amplificador dual.

Señal de entrada aplicada al amplificador dual.

De acuerdo a los valores de diseño, las señales que entran al amplificador dual llegan con un nivel de entre - 50 y - 55 [dBm] y con una frecuencia de entre 50 y 90 [MHz].

Considerando estos parámetros, se generó con un sintetizador de frecuencia una señal de estas características, concretamente una señal con una potencia de -53.21 [dBm] y una frecuencia entre 50 y 90 [MHz], la cual se puede observar en la figura 2.10 que se muestra a continuación.

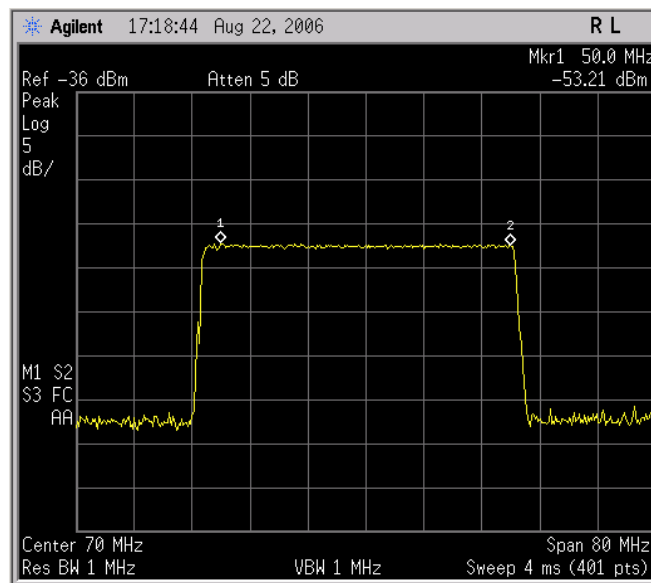


Figura 2.10 Señal de entrada aplicada al amplificador dual para hacer el estudio de su respuesta en frecuencia.

Respuesta del amplificador dual, salida A.

El amplificador dual de FI está diseñado para aumentar el nivel de las señales hasta una potencia óptima requerida por el área de radiofrecuencia.

Dicho lo anterior, esperamos en la salida una señal que corresponda a la misma frecuencia que la de la entrada pero amplificada un cierto nivel. En el caso de este equipo, la ganancia es ajustable en el rango de 0 a 17 [dB].

En el extremo superior derecho de la figura 2.11, podemos observar que el marcador 3 nos indica un nivel de -40.95 [dBm], lo cual se traduce en una ganancia de 12.26 [dB] considerando que nuestra señal de entrada tuvo un nivel de -53.21 [dBm].

Los marcadores 1 y 2 en la figura 2.11 se encuentran en las frecuencias 50 y 90 [MHz] respectivamente, podemos observar que los tres marcadores están aproximadamente en el mismo nivel de potencia, debido a esto, podemos decir que el amplificador trabaja correctamente porque mantiene invariable la frecuencia y proporciona una ganancia constante en el rango de frecuencias en el que fue probado y por lo tanto dentro del rango en el que trabaja.

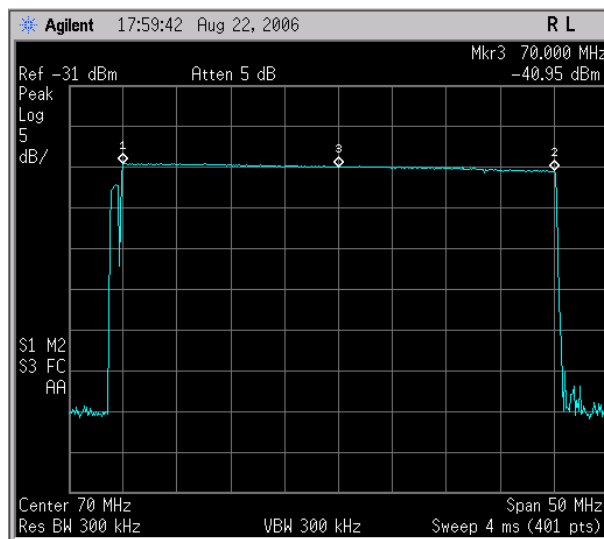


Figura 2.11 Respuesta en frecuencia del amplificador dual del área de FI sitio 1, Salida A.

Respuesta del amplificador dual, salida B.

De la misma forma, en la figura 2.12 podemos observar la respuesta en frecuencia del amplificador B y notamos que los tres marcadores se encuentran en un nivel equivalente, lo cual nos indica que el amplificador está compensando equitativamente en este rango de frecuencias.

Además, podemos observar en el extremo superior derecho de la figura 2.12 que el marcador 3 nos indica un nivel de -40.63 [dBm], lo cual se traduce en una ganancia de 12.58 [dB] que nos indica que el equipo está amplificando correctamente.

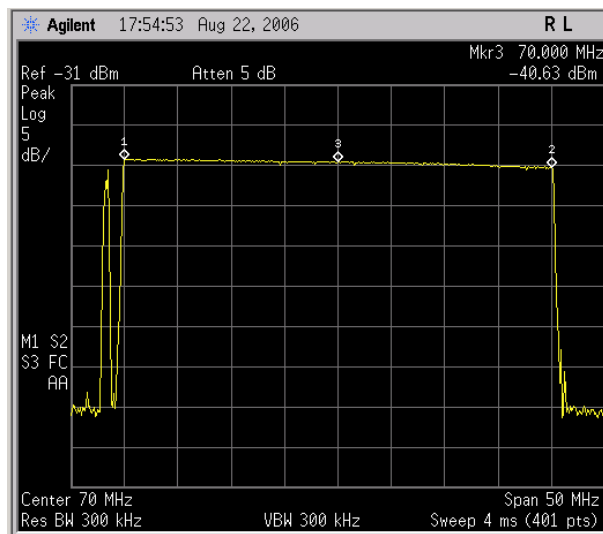


Figura 2.12 Respuesta en frecuencia del amplificador dual del área de FI sitio 1, Salida B.

Comparación entre las dos salidas del amplificador dual.

Esta comparación es importante, debido a que ambos amplificadores deben tener una respuesta en frecuencia muy parecida. Considerando que uno de los dos es de respaldo, si el otro se llegara a dañar, el nivel de la señal se debe mantener constante en todo momento sin importar cual de los dos equipos esté trabajando.

En la siguiente figura podemos observar que sí se presenta una similitud entre ambas respuestas, de hecho casi una está encimada sobre la otra, con lo que podemos decir que en caso de algún incidente con alguno de estos equipos, el otro lo puede sustituir sin ningún problema.

En figura 2.13 podemos observar simultáneamente las respuestas en frecuencia de ambas salidas del amplificador dual.

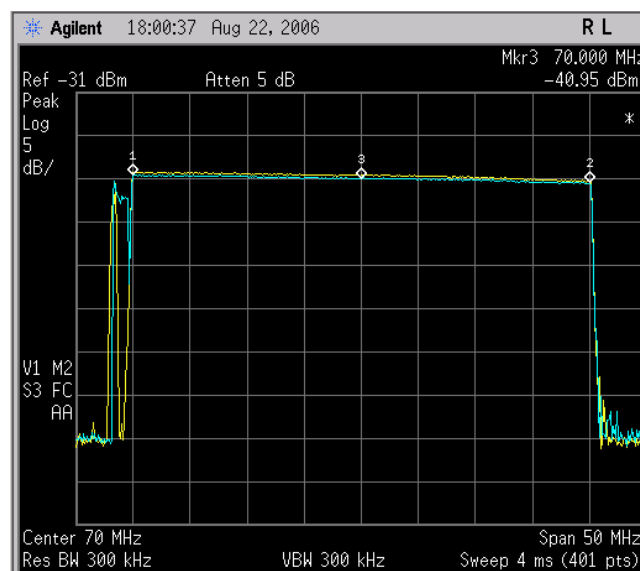


Figura 2.13 Comparación de la respuesta en frecuencia de ambas salidas del amplificador dual

Al realizar esta actividad, supe la importancia que cumplen las unidades de respaldo, ya que debido a que además de que están listas por si cualquier otra unidad equivalente falla, también son importantes cuando se requiere dar mantenimiento a las unidades principales.

Además, con este trabajo contribuí a que se llevara a cabo dicho mantenimiento, lo cual es un beneficio para que la red se conserve en buen estado y correcto funcionamiento.

También fue muy importante esta actividad en mi desarrollo profesional, ya que fortaleció mi conocimiento sobre algunos equipos necesarios para realizar este tipo de pruebas en las estaciones terrenas tales como el analizador de espectros y el sintetizador de frecuencia.

Revisión de posibles interferencias en banda L.

Es de esperarse que en las redes de comunicaciones vía satélite haya interferencias de sistemas que están compartiendo la misma banda de frecuencias, estas pueden ser tanto de sistemas satelitales como de sistemas terrestres.

Estas interferencias se pueden generar en el enlace de subida, donde las portadoras generadas por estaciones terrenas pertenecientes a un satélite adyacente o por enlaces de microondas terrestres son recibidas por la antena del satélite.

Las interferencias también se pueden introducir en el enlace de bajada, donde la Estación Terrena recibe portadoras de satélites adyacentes o señales de un enlace de microondas.

La señal indeseada puede llegar a afectar la transmisión y recepción de la información, pero en donde se ve más la afectación es en la recepción, debido a que los equipos Terminales son muy sensibles.

Por esta razón es de gran importancia que el ancho de banda destinado a la red esté libre de todo tipo de señales que vengan de otros sistemas y que únicamente se reciba la información que es generada por la Estación Terrena y Terminales pertenecientes a la red.

Este procedimiento lo llevaba a cabo en el área de monitoreo de la red MOVISAT, revisando los rangos de frecuencias en los que trabaja la red mediante la ayuda del analizador de espectros y observando si se presentaba alguna señal que estuviera interfiriendo con el sistema, en caso de que así hubiera sucedido, tenía instrucciones de avisarle al encargado del área para verificar si era una señal que se estaba generando de manera local o una señal externa que estaba interfiriendo.

Si era en realidad una interferencia, se le daría aviso al operador del satélite (SATMEX) para que verificara el origen de la señal, pero afortunadamente en el período en el que yo estuve realizando este monitoreo no encontré alguna señal indeseada.

Monitoreo de señalización de la plataforma satelital en banda L (pilotos de voz, GC-S's, señal de beacon, TDM's).

Estas señales se están transmitiendo continuamente en cada una de las regiones de cobertura del haz del satélite Solidaridad 2 y son importantes para el adecuado funcionamiento de la red.

Las señales piloto de voz aunque no llevan ninguna información, son muy útiles debido a que éstas les sirven a las Terminales Móviles como referencia para localizar el satélite.

Los canales del grupo de control (GC-S), proporcionan información del estado de la red, indicación de llamadas entrantes y mensajes de control que se originan desde la Estación Terrena dirigidas hacia las Terminales.

La señal de beacon es importante para la Estación Terrena de esta red, debido a que es una señal generada continuamente por el satélite, y de acuerdo al nivel recibido de ésta, el Sistema de Compensación Automática de Potencia, aumenta el nivel de amplificación de las señales y el Sistema de Control de Antena modifica la posición de la antena hacia una posición en la que recibe la máxima potencia de la señal de beacon.

Por último los TDM's, que son los encargados de la señalización de la red MOVISAT Datos.

Esta actividad la realizaba diariamente en el área de monitoreo de radiofrecuencia, mediante el llenado del formato denominado: "Monitoreo de RF señalización de la plataforma satelital en banda L", lo cual consistía en localizar cada una de las portadoras de señalización en el analizador de espectros, y tomar la lectura de la potencia máxima de cada una de ellas así como la frecuencia en la cual se presentaba.

Para que la lectura fuera lo más útil posible, dejaba que el analizador diera tres barridos en la frecuencia y como lectura real tomaba la que presentaba el mayor nivel de potencia.

Cada una de estas portadoras tienen un nivel de potencia promedio desde que la red fue diseñada, así que en el caso en el que estos valores se salieran del rango en el que debían estar, tenía dar aviso al personal encargado del área, el cual verificaba las razones por las cuales se provocaban estas variaciones.

Hubo ocasiones en los que las condiciones climáticas atenuaban los niveles de potencia de las señales, en cuyos casos, en conjunto con el equipo de radiofrecuencia, suministrábamos a la red la compensación necesaria mediante la UPC, la cual compensa por hasta por 12 [dB].

Mantenimiento a los HPA´s.

Con el fin de mantener en correcto funcionamiento y garantizar la operación de los amplificadores de alta potencia HPA`s, que forman parte de la red MOVISAT, se realiza periódicamente el mantenimiento preventivo y correctivo de estos, mediante la realización de trabajos de inspección, limpieza, ajuste, reparación y pruebas de funcionamiento y operación de acuerdo a los lineamientos del fabricante de los equipos.

Debido a lo comentado anteriormente, durante el periodo en el que estuve realizando mi servicio social en esta institución, me correspondió hacer esta tarea junto con el personal de radiofrecuencia.

A continuación explico el procedimiento que seguimos para realizar esta labor, la cual fue requerida para dos de los cuatro amplificadores que se encuentran en el área de radiofrecuencia de la red de banda L.

Medidas de seguridad.

Uno de los puntos más importantes antes de comenzar a realizar esta actividad, fue el conocimiento de las medidas de seguridad, necesarias para que el mantenimiento del equipo se llevara a cabo sin ningún percance, y en caso de que alguna cosa sucediera, tener en cuenta los procedimientos necesarios para resolver los problemas. Algunas de las medidas que tuvimos que tomar en cuenta fueron las siguientes:

Alto voltaje. En algunos casos puede ser requerido trabajar en el equipo con los voltajes vivos expuestos, que pueden llegar al orden de kilovolts, así que no hay que confiarse.

Corte de energía. La persona que trabaja expuesta a los voltajes vivos debe ser observada por lo menos por otra persona quien pueda quitar el voltaje sin ningún retraso.

Accesorios no. Durante y a través de todo el procedimiento no se pueden usar accesorios personales, como son: plumas, cadenas, relojes, pulseras, etc. El tubo tiene un fuerte campo magnético que lo rodea, el cual puede atraer la mano si se tiene una pulsera metálica, y provocar un accidente o causarte un daño serio. De igual forma, se debe tener cuidado cuando se utilizan herramientas metálicas cerca del tubo klystron.

Conocimiento del equipo.

Antes de que iniciáramos el mantenimiento de los HPA´s fue necesario, por lo menos, conocer de manera general elementos y subsistemas que lo integran, funciones, estructura y ubicación de partes, elementos o subsistemas con los que hay que tener especial cuidado y atención.

Por lo anterior, el segundo paso fue realizar una pequeña revisión e introducción a los HPA's, la cual se comenta a continuación.

Subsistemas principales y sus funciones.

Los HPA's klystron son diseñados para estaciones terrenas para comunicación satelital operando en frecuencias de banda C y Ku. Potencias de RF superiores a los 3000 watts (para amplificadores de banda C) o mayor a 2200 watts (para amplificadores en banda Ku) son proporcionadas adquiriendo el tubo klystron apropiado con el HPA.

El HPA contiene fuentes de potencia reguladas para alimentar al klystron, un componente integrado de alta potencia de salida de RF, un amplificador de potencia intermedia (en adelante IPA, por sus siglas en inglés) integrado, estabilizado por temperatura incluyendo una unidad de atenuación de control de RF, display y LED's, y un control lógico basado en un microprocesador. El HPA tiene control total y capacidades de monitoreo desde un teclado en el panel frontal.

El HPA consiste en un gabinete dividido en dos secciones. La sección inferior contiene la fuente de alimentación del Beam montada sobre un carrito, el carrito contiene el equipo para proveer voltaje de Beam al klystron.

En la sección inferior, sobre la puerta mas baja se encuentra el regulador del Beam que estabiliza el voltaje del Beam que es entregado al Klystron, tal que su salida de RF permanece estable. Además en esta sección inferior está el Panel de Potencia AC, conteniendo todos los componentes de alimentación de AC como circuitos interruptores y contactos.

La sección superior del gabinete contiene las partes de control y de RF del HPA, el cual es la pieza central del HPA, recibe miliwatts de entrada de RF y los amplifica a los kilowatts necesarios para alcanzar satélites de comunicación estacionados en aproximadamente 36,000 [km] arriba del Ecuador.

El klystron recibe la entrada de RF desde el IPA. Una vez amplificada, la potencia de RF sale por la parte de atrás del klystron a través del componente de salida de RF. El componente de salida de RF canaliza la potencia de RF amplificada hacia el puerto de salida, donde se conecta la antena.

En frente del Klystron está el sintonizador de canal, con el cual el usuario selecciona un canal de comunicación para el satélite buscado. Dependiendo del klystron seleccionado, se tiene para escoger desde 6 hasta 24 canales. Estos son seleccionados por medio de las perillas adheridas al sintonizador o por medio de un selector de canal motorizado opcional.

Además, en la sección superior del gabinete se encuentra el controlador, un circuito microprocesador que es el cerebro del HPA. Este lleva los comandos de usuario hacia el sistema y la información interna de los procesos hacia el display.

La sección superior también contiene fuentes de potencia regulada de bajos voltajes que alimentarán todas las otras partes del klystron. Componentes adicionales de la sección superior, incluyen el ventilador de extracción de aire y la turbina para enfriamiento del colector del Klystron, cuerpo del Klystron y el interior del gabinete.

Los ductos para el flujo de aire exterior e interior, van desde la parte trasera del gabinete hacia el sistema de enfriamiento del edificio o las puertas. Estos ductos son necesarios para sacar todo el calor significativo generado por el colector del Klystron.

El cuerpo del Klystron, el cual genera poco calor, usualmente tiene su propio ventilador, el cual saca el aire dentro del gabinete; un ventilador adicional saca dicho aire hacia el exterior del gabinete.

El panel frontal del gabinete contiene el panel de control, un teclado y un display que son usados para el control y monitoreo de todos los aspectos de operación del HPA. El display tiene cuatro líneas, las cuales constantemente reportan el estado del HPA.

Registro de estado inicial

El registro de estado inicial del HPA nos permite conocer el estado funcional y operativo inicial que tiene el HPA, de tal manera que los mismos parámetros se deben mantener en el HPA después de realizados los trabajos de mantenimiento.

Así que el primer paso en el mantenimiento fue hacer un reporte inicial del equipo, en el cual se capturaron los datos del amplificador al cual se le estaba dando el mantenimiento y junto con esta información se agregaron los parámetros iniciales que presentaba el amplificador, los cuales son desplegados en su display e indican aspectos de operación y estado de los amplificadores.

Además en este punto, calculamos la ganancia del amplificador antes de realizar el mantenimiento, con la finalidad de que la tuviéramos como parámetro de comparación al finalizar el proceso.

Ganancia del HPA

En primer lugar, fue importante asegurar que el HPA que estaba recibiendo el mantenimiento se encontrara en modo TRANSMIT pero en Offline, es decir, que la salida del HPA, estuviera fuera de línea o lo que es lo mismo, su salida estuviera dirigida hacia una carga.

Una vez que obtuvimos los valores de configuración y parámetros iniciales del HPA, nos dedicamos a obtener y registrar la ganancia de operación del HPA anterior al mantenimiento.

Para obtener la ganancia, se realizaron los siguientes pasos:

- **Señal de entrada.** Mediante un generador de señales, inyectamos una señal pura, de frecuencia y nivel de potencia conocidos, a la entrada del amplificador. Para efectos prácticos, la frecuencia central y nivel de potencia de la señal fue de uno de los pilotos de señalización de la red MOVISAT Voz.

- **Señal de salida.** Como lo había comentado anteriormente, el HPA debe estar en modo TRANSMIT pero con su salida hacia la carga. Por lo anterior, conectamos un analizador de espectros en el punto de monitoreo que se encuentra justo antes de la carga y registramos el valor de la potencia a la salida, con la cual, mediante una suma de potencias en decibeles, pudimos conocer el valor de la ganancia inicial.

Mantenimiento Mecánico

Una vez realizado lo anterior, se puede decir que en este punto inicia propiamente el mantenimiento preventivo, en el cual realizamos los procedimientos que a continuación se describen.

Inspección visual

Verificamos cada subsistema del amplificador, verificando que sus componentes estuvieran en correcto estado, es decir, no presentaran algún daño visible.

Examinamos los ductos de salida de aire y todos los ventiladores para revisar que estuvieran funcionando correctamente, y en su defecto remplazarlos si era necesario.

Revisión de LED's y Display

Esta fue una prueba que realizamos para verificar las propiedades de operación de todos los indicadores y la cual consiste en corroborar el correcto funcionamiento del display y sus LED's.

Desarme, limpieza y lubricación

El primer paso que llevamos a cabo en este procedimiento fue desarmar todos los subsistemas del amplificador para poder revisarlos detalladamente y darles su correcto mantenimiento.

El siguiente paso fue realizar la limpieza de todos los componentes, tanto mecánicos como eléctricos con la ayuda de una aspiradora antiestática para retirar la capa de polvo que llegaron a tener y se les agregó también líquido para limpieza de circuitos, con el fin de lubricarlos y que tuvieran una capa que los protegiera del polvo.

Ajuste y calibración.

Con la finalidad de que los valores que proporcionaba el display fueran los valores más reales posibles, en cuanto a voltaje de Beam y su corriente, realizamos un ajuste y calibración de los valores marcados por el display, los cuales se ajustaron a los valores proporcionados por un multímetro calibrado.

Armado.

Una vez que terminamos el mantenimiento, ensamblamos todos los componentes de la misma manera en que fueron retirados del equipo, siempre con los cuidados necesarios para evitar el daño de alguno de estos elementos.

Pruebas de funcionamiento y registro de estado final.

Una vez que terminamos de realizar el mantenimiento del equipo y lo armamos en su totalidad, fue conveniente realizar un reporte de su estado final.

Para realizar esta labor, partimos de que el equipo se encontrara en el mismo estado en el que tomamos sus parámetros iniciales, así que colocamos el equipo en funcionamiento pero en su modo de transmisión hacia la carga.

Utilizando el mismo procedimiento para obtener la ganancia inicial, determinamos su ganancia final y anotamos los parámetros proporcionados por el display para comparar los valores iniciales y finales.

Los valores de configuración, parámetros y ganancia deben mantenerse después del mantenimiento, en caso de que esto no sucediera había que verificar el fallo hasta que el equipo mantuviera el mismo desempeño que tenía al inicio del mantenimiento.

Algunos detalles.

Cabe mencionar que al finalizar el mantenimiento de los amplificadores, el equipo presentaba algunas alarmas, las cuales se pudieron corregir con la ayuda del manual.

El tipo de fallas que presentaban era que alguna salida de aire no estaba bien sellada, o que alguna de las tapas no estaban correctamente cerradas, lo cual impedía el funcionamiento del equipo.

Algunos de los ventiladores que son esenciales para la disipación del calor, tienen unos sensores que alarman el equipo en caso de que no tengan respuesta del ventilador. Este tipo de alarma fue identificada en uno de los dos equipos; después de verificar la falla, encontramos que uno de los sensores no estaba trabajando correctamente. Pese a estas fallas, el mantenimiento de estos dos equipos se llevó a cabo sin ningún contratiempo extra.

CAPÍTULO 3

RED DE TELEFONÍA RURAL EN BANDA KU.

Es una red diseñada por Gilat, cuya versión es Dial Aw@y IP, una red más moderna que la red de banda L y que puede ser la solución para comunidades en áreas donde los servicios de PSTN e Internet no están disponibles o son demasiado costosos.

Esta red a diferencia de la red de banda L, está orientada a brindar servicios de Telefonía Rural Satelital, aunque tiene la capacidad también de enviar datos, haciendo uso del transpondedor 10k del Satélite mexicano SATMEX V.

La arquitectura de esta red, para su mejor comprensión la podemos dividir en tres segmentos, los cuales son: La Estación Terrena Maestra (en adelante HUB), el segmento espacial (formado por el satélite) y por último las Terminales Satelitales.

3.1 Estación Terrena Maestra.

Cabe señalar que esta red tiene una configuración de estrella, lo cual nos indica que cada una de sus Terminales debe establecer comunicación con el HUB, el cual les abre el acceso para comunicarse vía éste hacia otra VSAT o hacia la PSTN.

Como se había comentado en el primer capítulo de este trabajo, el hecho de tener una red con topología de estrella produce un retardo significativo en comunicaciones que van de VSAT a VSAT, sin embargo, debido al mayor costo de las redes con topología de malla, se emplea esta red con esta configuración.

Además, debido a que la mayor cantidad de llamadas son generadas desde la PSTN a las Terminales o en sentido inverso, es muy conveniente la utilización de esta topología de red.

De este modo, las instalaciones del HUB proporcionan un control centralizado de la información que fluye a través de la red VSAT. Las interfaces del HUB con una computadora principal, soportan múltiples canales satelitales de datos de entrada y de salida, con lo cual se puede tener un buen manejo de la red.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques del HUB de la Red de Banda Ku y a continuación se explica cada uno de los elementos que lo componen.

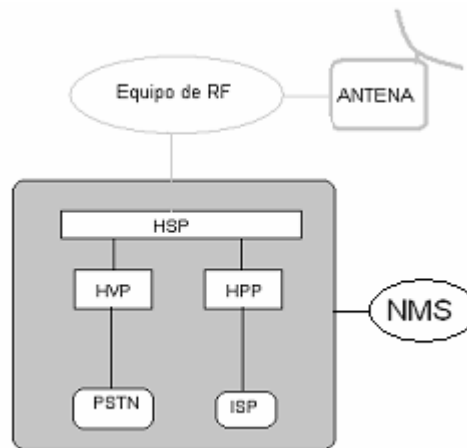


Figura 3.1 Diagrama de bloques del HUB de la Red de Telefonía Rural en Banda Ku

NMS.

Consiste de un equipo de computadora con el software especializado y ventanas que permiten la correcta administración de la red.

Esta computadora está conectada a cada una de las VSAT's mediante un circuito virtual, de este modo, se puede establecer una constante comunicación entre la Estación Terrena y las Terminales, para saber el estado de cada una de ellas.

Procesador satelital del HUB (HSP)

El procesador Satelital de HUB, es el responsable de generar el tráfico saliente y recibir el tráfico entrante, además de que procesa los mensajes provenientes de los HVP's y HPP's o los que van hacia ellos.

Procesador de voz del HUB (HVP)

Procesador de voz del HUB, consiste de una unidad VSAT básica, contiene hasta tres tarjetas de interfaz E1 y procesa las llamadas provenientes de la PSTN que entran a la red, así como las llamadas que se generan en la red cuyo destino es la PSTN.

Procesador de protocolos del HUB (HPP)

Es la interfaz entre la red satelital y la Internet, procesa protocolos que hacen que el equipo del cliente sea compatible con la Internet, el HPP también realiza la concentración y enrutamiento para la señal de salida.

Equipo de radiofrecuencia y antena.

Este bloque del HUB es el encargado de acondicionar las señales provenientes del procesador del HUB, para que puedan ser transmitidas con el nivel de potencia necesaria y la frecuencia adecuada hacia el satélite.

3.2 Segmento espacial.

Los satélites mexicanos, tienen la capacidad suficiente para soportar el establecimiento de redes VSAT, además de que presentan la ventaja de tener cobertura en toda la extensión de la República Mexicana.

Considerando los puntos anteriores, el satélite SATMEX V a través de su transpondedor 10k, se encarga de ser el acceso para el tráfico de la red de banda Ku. En la siguiente figura podemos observar el flujo de la información en su paso por dicho satélite.

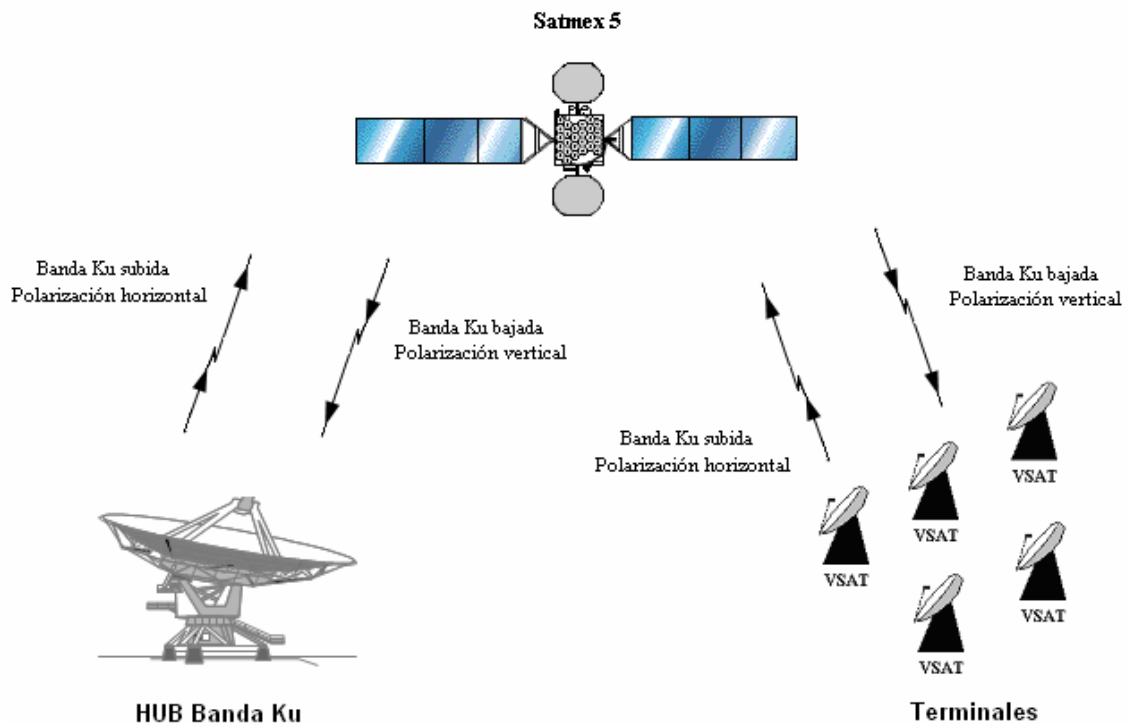


Figura 3.2 Flujo de información a través del satélite SATMEX V

Como podemos observar en la figura 3.2, para los enlaces de subida se utiliza una frecuencia en banda Ku de subida que es oficialmente una banda que va desde los 14 hasta los 14.5 [GHz]. En el caso de los enlaces de bajada, está establecido un rango de frecuencia para la banda Ku de 11.7 a 12.2 [GHz].

La conversión de esta frecuencia es realizada en el interior del satélite y se hace con el fin de evitar interferencias entre cada enlace de subida y cada enlace de bajada.

También se puede observar en la figura anterior, que la polarización de la señal ascendente es ortogonal a la polarización de la señal descendente, esto se debe a que el satélite utiliza una técnica de reutilización de frecuencias llamado: reutilización de frecuencias con discriminación de polarización y que ayuda a hacer un uso más eficiente del ancho de banda del satélite.

3.3 Terminales Satelitales.

Como lo había comentado anteriormente, la infraestructura de las VSAT's consta de dos componentes principales, a continuación se comentan de manera particular cuales estos componentes y los equipos utilizados en esta red:

ODU.

Como se comentó en el capítulo 1, la ODU es la interfaz de la VSAT con el satélite. En esta parte está la antena, el amplificador de transmisión, el receptor de bajo ruido, los conversores de subida y de bajada, y el sintetizador de frecuencia.

Como parte de este bloque se definen los siguientes componentes:

Antena: En particular para esta red de banda Ku se utilizan reflectores parabólicos de 1.8 metros de diámetro marca Channel Master de alimentación descentrada.



Figura 3.3 Antenas utilizadas en las VSAT's de la red.

Alimentador: Dirige las señales que genera el usuario desde su Terminal y las refleja en el plato parabólico, así como recibe del reflector las señales que son transmitidas desde el satélite.

El alimentador, a su vez consta de dos componentes principales:

LNB: Bloque de bajo ruido, amplifica la señal proveniente del satélite, introduciendo el mínimo de ruido; además traslada la información en frecuencia desde banda Ku de bajada a una señal en banda L que sea útil para la IDU de la VSAT.

HPC: Debido a que la IDU de la VSAT trabaja en un rango de frecuencia dentro de la banda L, este equipo es el encargado de trasladar en frecuencia la información y darle la ganancia necesaria para que llegue al satélite con buena calidad.

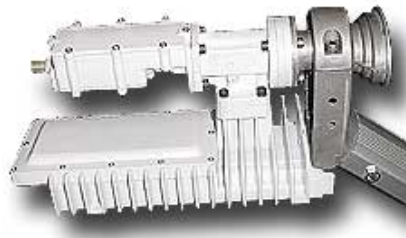


Figura 3.4 Alimentador utilizado por las Terminales Satelitales de la Red de Telefonía Rural en Banda Ku.

IDU.

Como se comentó anteriormente, la IDU es la unidad en la que se conecta la Terminal del usuario o la red de área local. Está situada en las instalaciones del usuario. Para que el usuario conecte sus Terminales a la VSAT, se debe acceder a los puertos que tiene la unidad en su parte trasera. Son parámetros importantes: el número de puertos, su tipo y su velocidad.

Las unidades que se manejan en la Red de Telefonía Rural en Banda Ku tienen la opción de conectar teléfonos a través de sus tarjetas de voz o incluso darle al usuario la posibilidad de conectarse a Internet a través de su puerto Ethernet.

Como medio de interconexión entre la ODU y la IDU, se utiliza un par de cables de tipo coaxial, para la transmisión, se conecta un cable desde la IDU hasta el amplificador en la unidad exterior; mientras que para la recepción, el cable coaxial viene desde el bloque de bajo ruido y se conecta a la IDU.



Figura 3.5 IDU de las Terminales de la Red de Banda Ku

3.4 Actividades realizadas en la Red de Telefonía Rural en Banda Ku

Supervisión de equipo de RF

La sección transmisora de la red o cadena de transmisión de la Estación Terrena de banda Ku está constituida básicamente por sus convertidores de subida y los amplificadores de potencia como parte del área de radiofrecuencia.

Por otro lado, la cadena de recepción está constituida por los amplificadores de bajo ruido y los convertidores de bajada.

Para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos anteriormente mencionados, diariamente llenaba el formato llamado: "Cambio de Turno RF", realizando una verificación del estado de la cadena de transmisión y de la cadena de recepción, supervisando que los factores de conversión de los convertidores de subida y de bajada se mantuvieran en los valores que fueron calculados durante el diseño de la red y que su ganancia también se encontrara dentro de sus parámetros de diseño.

Además de verificar los equipos que se encontraban en activo, verificaba que los equipos de redundancia y los conmutadores estuvieran trabajando correctamente para realizar el cambio en cualquier momento.

Otro punto muy importante, es el estado de la antena, así que verificaba que sus parámetros de orientación se encontraran en los valores que fueron calculados para su correcto apuntamiento hacia el satélite SATMEX V.

Configuración y alta de VSAT's

Antes de entregar el equipo a los técnicos encargados de instalar las Terminales Satelitales, éstas deben configurarse y asignarse al sistema para que tengan una correcta comunicación con el HUB.

Configuración:

Para realizar esta tarea, colocaba la IDU en su modo de configuración por consola y le cargaba parámetros, tales como su número de identificación con el HUB, el rango de frecuencias en el cual iba a transmitir y recibir información, la modulación que ocuparía y otros parámetros para que el sistema reconociera cada VSAT en el momento de su instalación y para que ésta pudiera comunicarse adecuadamente con el HUB.

Alta:

Una vez realizada la configuración del IDU, en el HUB establecía la existencia de esta VSAT, que aunque por el momento no estuviera trabajando, se debía de generar en la base de datos del sistema.

Para realizar esta tarea, hacía uso del NMS, el cual tiene una conexión virtual con cada VSAT de la red, de modo que el sistema siempre conoce el estado de sus Terminales Satelitales y del HUB.

Así que este sistema tiene la capacidad de agregar nuevas Terminales a la red o en su defecto eliminarlas de esta.

Para dar de alta una VSAT en el NMS, establecía el tipo de tarjetas que contenía dicha VSAT, si eran tarjetas de voz, tarjetas de red o en su defecto ambas y cuántas de cada tipo, debía de indicarse también su número de identificación, la localidad en la que se instalaría y el número telefónico que le correspondería, entre otros parámetros que son necesarios para el sistema.

El NMS, da la opción de que todas las Terminales puedan ser visualizadas mediante iconos de colores, que indican el estado de cada una de ellas, con el fin de tener una mejor administración. En este caso, al terminar la alta de la VSAT, su icono ya debía aparecer en el sistema, sin embargo, aparecería como inactiva hasta que fuera instalada en la localidad que le correspondía.

Orientación de antenas.

Una vez que la VSAT es correctamente configurada y ya existe en el sistema, el siguiente paso para establecer el servicio, es la instalación.

Debido a que las Terminales se colocan en zonas de difícil acceso, sería difícil darles mantenimiento continuamente, es por esto que el mayor problema con la instalación de las VSAT's es que la ODU se fije firmemente, para prevenir que el equipo sea dañado o pierda su debida orientación.

Una vez que el equipo ha sido instalado en la ubicación que se había establecido, la antena debe ser orientada correctamente hacia el satélite.

Así que, como parte de la formación que obtuve en Telecomunicaciones de México se encuentra esta actividad, cuyo principal objetivo es conocer el procedimiento que se debe realizar para una correcta orientación de la antena.

Dentro de las instalaciones de la dependencia, contábamos con una VSAT para realizar este tipo de pruebas, la cual ya estaba correctamente instalada y reconocida por el sistema.

Como primer paso, analicé y estudié todos los factores teóricos que deben ser considerados para el apuntamiento de la antena y los cuales a continuación describo.

La antena es orientada de acuerdo a tres ángulos, los cuales son: azimut, elevación y polarización.

Aunque los conceptos de estos ángulos son aplicables para cualquier orientación de antena, las expresiones que se muestran a continuación para el cálculo de estos, son exclusivamente para la ubicación que tiene la VSAT de prueba que se utiliza en la red y desde luego, para su orientación hacia el satélite SATMEX V.

De este modo, lo primero que debe hacerse es recabar los datos necesarios que se utilizarán para el cálculo de los tres ángulos mencionados anteriormente, los cuales se presentan a continuación:

$$A = 116.8^\circ \text{ (longitud del satélite)}$$

$$B = 99.0646^\circ \text{ (longitud de la antena)}$$

$$C = 19.382^\circ \text{ (latitud de la antena)}$$

$$W = 22.6^\circ \text{ (offset, debido a que es una antena de alimentación descentrada)}$$

$$D = A - B$$

$$E = \cos^{-1}(\cos C * \cos D)$$

De acuerdo a estos resultados y a las definiciones de estos tres ángulos, se comienza a orientar la antena, a continuación se define cada uno de estos parámetros y se explica el procedimiento para el correcto apuntamiento de la antena.

Ángulo de elevación

Tomando como referencia al eje de simetría del plato parabólico, que coincide con su eje de máxima radiación, el ángulo de elevación es aquel formado entre el plano horizontal y dicho eje de simetría dirigido hacia el satélite.

Para orientar la antena con relación a este parámetro, utilizaba como herramienta un inclinómetro, con el que podía observar detalladamente el ángulo calculado.

Cálculo del ángulo de elevación:

$$EL = \tan^{-1}\left(\frac{\cos E - 0.151269}{\text{sen}E}\right) - W = 36.96^\circ$$

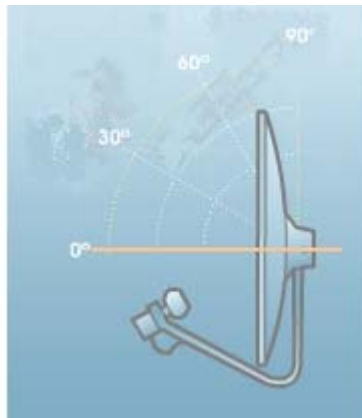


Figura 3.6 Ángulo de elevación

Ángulo de azimut

Por su parte, el ángulo de azimut se define como la cantidad en grados que hay que girar la antena en sentido de las manecillas del reloj -con relación al norte geográfico de la Tierra- para que ese mismo eje de simetría -prolongado imaginariamente- pase por la posición en longitud del satélite.

Para realizar la orientación de la antena en azimut, utilicé una brújula, la cual proporciona la lectura de un ángulo dado con respecto al norte magnético y debido a que el azimut está definido en términos del norte geográfico, debemos tomar en cuenta lo que se llama declinación magnética, que es justo la diferencia entre estos dos parámetros y la cual depende de la localización de la Terminal que se está instalando y del momento en el que se está tomando la lectura.

Debido a esto hay que tomar en cuenta que en este año y para el Distrito Federal, la declinación magnética es de 6° , así que habrá que restarle al ángulo de azimut estos 6° para encontrar la ubicación correcta con la brújula.

Cálculo del ángulo de azimut:

$$Az = 180 + \tan^{-1}\left(\frac{\tan D}{\text{sen}C}\right) = 223.94^\circ$$

Por lo tanto con la brújula se busca la ubicación de: $223.94^\circ - 6^\circ = 217.94^\circ$

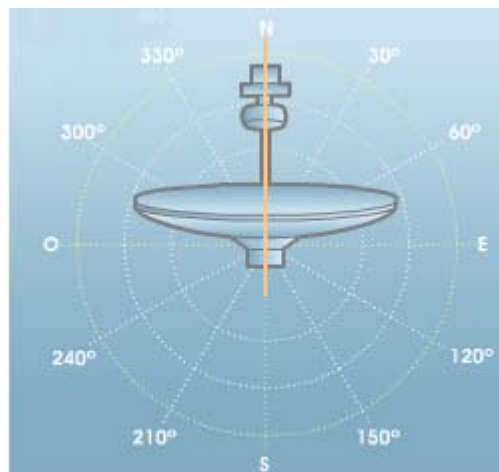


Figura 3.7 Ángulo de azimut

Ángulo de polarización

La polarización de las ondas radiadas y recibidas por una Estación Terrena, corresponde a la orientación de su vector eléctrico que siempre es perpendicular a la dirección de propagación.

Debido a que las antenas de esta red reciben y transmiten en polarización lineal, es necesario que su polarizador se encuentre bien alineado para recibir correctamente cada polarización.

En el alimentador, que se encuentra frente al reflector de la antena, hay una graduación que indica el ángulo que tiene el polarizador, así que ésta sirve de parámetro para lograr dicha orientación.

Cálculo del ángulo de polarización:

$$POL = \tan^{-1}\left(\frac{\text{sen}D}{\tan C}\right) = 40.88^\circ$$



Figura 3.8 Ángulo de polarización

Una vez que fueron ubicados estos parámetros; mediante la ayuda de la IDU, se realiza una orientación más precisa, en la cual se conecta dicha unidad a la antena y en modo de recepción, se verifica el BER (Bit Error Rate).

Una vez encontrado un número razonable de errores de bits ($10E-8$), entonces sí se daba como concluido el apuntamiento de la antena.

Pruebas de aislamiento.

Los sistemas que emplean polarización circular, como en la red de banda L tienen la ventaja de que sus antenas no necesitan orientación de polarización; en cambio, los que operan con polarización lineal sí la requieren como es el caso de las Terminales de la Red de Banda Ku.

Con el propósito de evitar interferencias debido a la transmisión en polarización contraria, todas las VSAT's deben ser evaluadas mediante el procedimiento llamado: **aislamiento de polarización**, el cual realicé varias ocasiones y explico a continuación.

Una vez que el técnico encargado de instalar una VSAT ha orientado correctamente su antena, llama al HUB a través de un teléfono satelital de banda L y pide se le realice la prueba de aislamiento de polarización.

Para comenzar este procedimiento, se le pide al técnico diga el número de identificación de la VSAT en el sistema y su localización.

Una vez que se encuentra el icono de la VSAT en el sistema y se verifica que es la correcta, con ayuda del NMS se levanta una portadora limpia que será transmitida por la VSAT y que servirá como parámetro para verificar la señal en ambas polarizaciones.

Estas polarizaciones de la señal pueden ser visualizadas en dos analizadores de espectros que se encuentran en el HUB.

En la figura 3.9 podemos observar el equipo utilizado en el HUB para realizar esta prueba, como vemos son necesarios dos analizadores de espectros, con la finalidad de que en cada uno se pueda observar una polarización diferente.



Figura 3.9 Analizadores de espectros utilizados para realizar las pruebas de aislamiento.

CO POL

Para realizar la prueba de aislamiento, esta señal es importante debido a que se puede observar en tiempo real el nivel de potencia que está radiando la antena de la VSAT y monitorear sus cambios a lo largo del procedimiento.

La imagen mostrada en la figura 3.10 muestra la pantalla que debe tener uno de los dos analizadores de espectros arriba mencionados, en la que se observa la co pol.

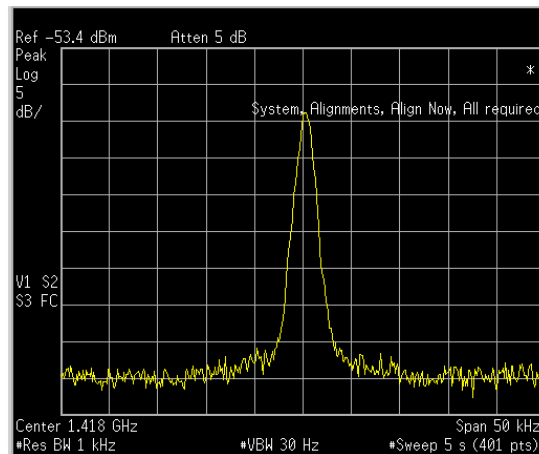


Figura 3.10 Co pol

CROSS POL

En la figura 3.11 se muestra la imagen que debe mostrar la pantalla del otro analizador de espectros para realizar la prueba.

Esta señal es importante debido a que observamos la inducción que produce la antena remota en la antena maestra y podemos monitorear sus cambios en tiempo real a lo largo del procedimiento.

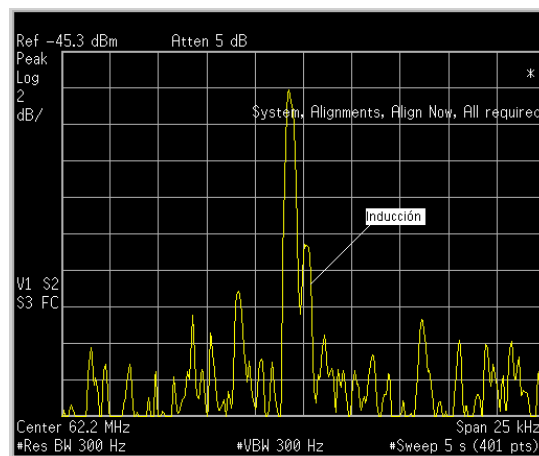


Figura 3.11 Cross pol.

Observando el comportamiento de estas dos señales a lo largo del tiempo, mientras se le pide al técnico vía el teléfono que le haga ciertos movimientos finos a la antena, podemos lograr el aislamiento de la polarización contraria.

Mediante movimientos finos en elevación, podemos aumentar la potencia de la co pol, los movimientos finos se llevan a cabo apretando cara por cara la tuerca encargada del movimiento de elevación de la antena.

El movimiento en azimut, se lleva a cabo bajo el mismo procedimiento, es decir, se hacen movimientos cara a cara de la tuerca que modifica el azimut de la antena. Este movimiento afecta el nivel de ambas señales, así que hay que tener cuidado con no perder demasiada potencia en la co pol.

Por último, al polarizador se le dan pequeños movimientos manuales, los cuales ayudan a reducir la inducción de la polarización contraria.

De modo que mediante la modificación de estos tres parámetros, se debe lograr una buena potencia de la co pol y disminuir la inducción de la polaridad contraria a un nivel de ruido.

Una vez concluido este procedimiento, las señales deben tener las siguientes características:

Co pol

De acuerdo a recomendaciones de la ITU y la FCC, las antenas que trabajan con polaridad lineal, deben de cumplir con un nivel de aislamiento dentro del rango de 30 a 35 [dB] en la co pol después de haber realizado su aislamiento.

En la figura 3.12, podemos observar que tenemos una escala vertical de 5[dB], con la cual obtenemos un nivel con respecto al ruido de aproximadamente 35[dB].

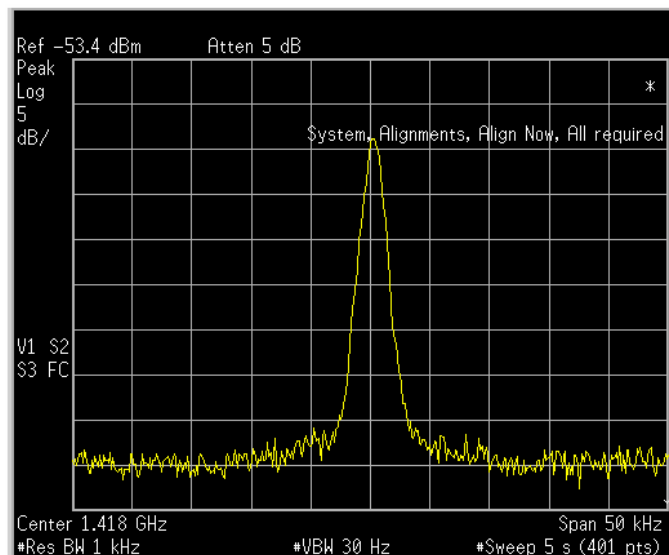


Figura 3.12 Co pol que pasa la prueba de aislamiento

Cross pol

Para que se considere por terminado el aislamiento, además de haber cumplido con una buena potencia en la co pol, debemos observar que la inducción de la polaridad contraria sea reducida hasta nivel de ruido, como lo muestra la figura de la derecha, en la cual ya no se observa la inducción

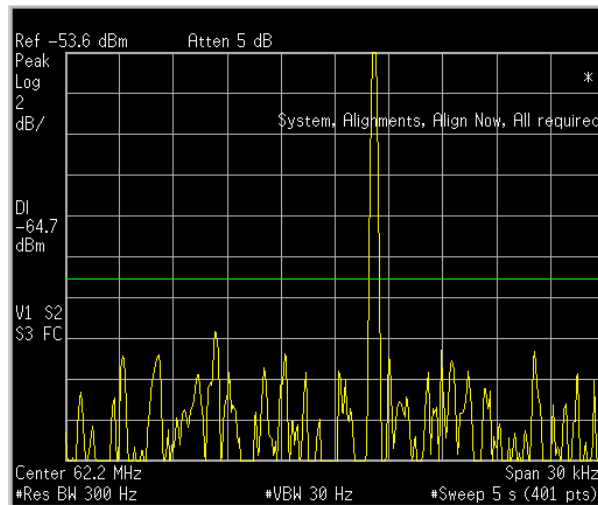


Figura 3.13 Cross pol que pasa la prueba de aislamiento.

Si las dos señales ya tienen las características indicadas, se le da aviso al operador del satélite, en este caso SATMEX, para que le dé el visto bueno y la Terminal sea autorizada para transmitir.

Concluido este procedimiento, en el NMS se proporcionan los permisos necesarios a la estación remota para que pueda quedar activa y finalmente se realiza una llamada de prueba para verificar la calidad de la transmisión.

Adicionalmente, con la finalidad de tener una base de datos de las VSAT's de la red, se realiza un reporte con las características de la VSAT, y su ubicación.

Además, este reporte también contiene los datos del instalador, del operador en el HUB y del operador de SATMEX, así como datos de la prueba que proporciona el operador del satélite, indicando principalmente el nivel de aislamiento con el que se pasó la prueba.

Pruebas para el cambio de tráfico de la Red de Banda Ku, a la antena de la Red MOVISAT.

Debido a la necesidad de darle servicio de mantenimiento a la antena maestra de la Red de Telefonía Rural en Banda Ku, surgió la necesidad de que dicha antena quedara liberada completamente, es decir, que no cursara tráfico alguno en ella.

Como primer punto, debido a que esta red no tiene una antena de respaldo, se buscó habilitar otra antena maestra, para cambiar el tráfico de la red hacia ella, sin embargo, no se pudo encontrar una con las mismas características.

En virtud de lo anterior, se realizaron trabajos en los que estuve colaborando para determinar la posibilidad de cursar el tráfico de la red de banda Ku a través de la antena e infraestructura de RF disponible en el Sitio 1 de la red de MOVISAT Banda L.

Comparativo de los equipos de RF del sitio 1 de la Red de Banda "L" con respecto al equipo de RF utilizado en la Red de Banda Ku.

Como se puede notar en la tabla 3.1, existen notables diferencias entre los equipos de RF utilizados en ambas redes, por lo que fue necesario realizar una serie de pruebas a los equipos de la Red de Banda "L" y determinar si podrían ser utilizados para cursar el tráfico de la Red de Banda Ku.

Descripción	Red Banda Ku	Red Banda L	Comentarios
Traslación de Frecuencias	Conversión de FI a banda Ku.	Conversión de FI a banda "C" y de banda "C" a banda "Ku"	Equipos de banda "L" realizan la conversión en dos etapas.
Amplificación de Potencia	- TWT's - 80 W - BW continuo	- HPA's - 2200 W - BW por cavidades	Amplificadores de banda "L" son de mayor capacidad pero su BW no es continuo, hay que sintonizar la cavidad adecuada.
Antena Maestra	- NEC de 7.6 [m]. - 4 puertos	- Vertex de 7.3 [m]. - 2 puertos	Capacidad de puertos limitada en la antena de banda "L". Se debe habilitar otra antena para realizar aislamientos.
Generadores, receptores de piloto para compensar corrimientos en frecuencia.	No	Si	Hay que realizar una serie de ajustes para omitir compensación.

Tabla 3.1 Comparativo entre los equipos de radiofrecuencia de la red MOVISAT y la red de Banda Ku.

Revisión y pruebas.

Las pruebas que a continuación se describen, son las que realizamos para determinar si los equipos de RF de la red de banda "L" podrían ser utilizados para cursar el tráfico de la red de banda Ku.

Traslación de frecuencias.

De acuerdo a las necesidades de la red de banda Ku, se requería que los equipos de RF, trasladaran las portadoras generadas en los moduladores de la red, de una frecuencia intermedia de 70 [MHz] a una frecuencia de banda Ku de subida que entrara dentro del rango de frecuencia que tiene asignada la red en el satélite Satmex 5.

Debido a lo anterior, por mayor facilidad, se determinó implementar un convertidor de subida de banda Ku que se tenía como respaldo en la Red de Telefonía Rural y no utilizar el conjunto convertidor de banda C - trasladador de banda Ku de la red de banda L.

Para complementar esta tarea, el mismo procedimiento anterior se realizó para la etapa de conversión de frecuencia en recepción, en donde se hizo uso de un convertidor de bajada de banda Ku, obteniendo resultados satisfactorios.

Con la finalidad de comprobar que se realizaba la conversión de frecuencias en el ancho de banda requerido, conectamos un generador de señales a la entrada de ambos convertidores e hicimos un barrido en el rango de frecuencias de entrada correspondientes a cada convertidor.

Finalmente, para observar la respuesta en frecuencia de los equipos, conectamos un analizador de espectros a la salida de ambos convertidores, logrando obtener buenos resultados.

Amplificación de Potencia, en el BW utilizado por la Red de Banda Ku.

Se puede observar en la tabla 3.1 que la red de banda Ku utiliza amplificadores TWT cuyo ancho de banda es continuo a diferencia de los HPA's de la red de banda L, que maneja cavidades.

Después de realizar pruebas con las cavidades con las que cuentan los amplificadores, se logró establecer una cavidad que soportó el ancho de banda requerido para el tráfico de la Red de Banda Ku y se estableció que el equipo tenía la ganancia y linealidad necesarias para realizar una correcta amplificación.

Una vez hecho esto, únicamente restaba que SATMEX validara en el momento del cambio de tráfico que observaba con normalidad los niveles de potencia del outbound (señalización).

Orientación de la antena hacia el satélite SATMEX V.

Debido a que la antena de la red de banda L estaba orientada hacia el satélite Solidaridad 2, se tuvo que cambiar su orientación hacia el satélite SATMEX V, que es el que se utiliza en la red de banda Ku.

Se realizó con éxito el aislamiento de la antena maestra de banda "L" y se contó con la aprobación de SATMEX para acceder al satélite.

Instrumentación de antena y equipo correspondiente para contar con capacidad para realizar aislamientos.

Debido a que la antena maestra de la red de de banda L es de solo dos puertos, a diferencia de la antena de la red de banda Ku que es de cuatro puertos, con ésta no se tendría la capacidad de realizar aislamientos.

Debido a esta necesidad, se requería instrumentar totalmente otra antena que trabajara en conjunto con la de banda L y la cual nos permitiera realizar los aislamientos de las Terminales de la red.

Se verificó que una antena de 2.4 [m], con la que se contaba, estuviera en condiciones para la realización de los aislamientos de dichas Terminales y finalmente se instaló para llevar a cabo dichas pruebas.

Finalización de las pruebas, cambio de tráfico.

Debido al éxito de las pruebas para evaluar la posibilidad de cambiar el tráfico de una antena a otra, se determinó que la antena y equipo asociado de RF del Sitio 1 de la red de banda L podía ser utilizado para cursar el tráfico de la red de banda Ku.

Una vez determinado el punto anterior, se coordinó entre las áreas involucradas, hora y fecha, así como personal que asistiría a la realización del cambio de tráfico, el cual sería realizado por la noche para interferir lo menos posible con el servicio de la red.

Este punto consistió en la conexión de las señales de frecuencia intermedia de la Red de Banda Ku mediante un par de cables coaxiales con el equipo de radiofrecuencia que se implementó.

Después de realizarse lo anterior, solo bastaba hacer las pruebas necesarias para comprobar que los servicios operaran correctamente, lo cual ocurrió sin ningún altercado.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

Las actividades que realicé en el programa de servicio social “Operación de la Red de Telefonía Rural en banda Ku”, contribuyeron en todo momento a mi desarrollo profesional.

En las dos redes en las que realicé diversas actividades, aprendí y reforcé mis conocimientos sobre las redes satelitales y todos los componentes que forman parte de ellas, aprendí también la función que cumple cada uno de sus componentes y su importancia para el correcto funcionamiento de la red.

En ambas redes, analicé y aprendí acerca del manejo y mantenimiento de los equipos de radiofrecuencia, tal como convertidores de subida y de bajada, amplificadores, unidades de control de antena, unidades de control de potencia, generadores de piloto, receptores de piloto, etc.

Además del conocimiento de este equipo, aprendí muchos conceptos teóricos de las redes satelitales, así como algunos aspectos de regulación de esta área de las Telecomunicaciones.

En la Red MOVISAT, reforcé mis conocimientos sobre el manejo de equipos de medición, tal como analizadores de espectros y sintetizadores de frecuencia y aprendí nuevas funciones de estos aparatos que son útiles para realizar pruebas.

En la Red de banda Ku, analicé, aprendí y realicé el proceso de instalación de nuevas Terminales Satelitales en la red; desde la programación del IDU, pasando por el apuntamiento de la antena, el alta de la VSAT en el NMS de la red, el aislamiento de su antena y finalmente el otorgamiento de sus permisos de transmisión.

Uno de los puntos más importantes de algunas de estas actividades fue sin duda el trabajo en equipo, ya que es indispensable en estas redes realizar trabajos que requieren la participación de dos o más personas para llegar a un mismo fin.

Con el desarrollo de estas actividades, contribuí al correcto desempeño de las redes, con lo cual se garantiza el servicio de telefonía rural a aquellas personas que tienen como único medio de comunicación el brindado por Telecomunicaciones de México.

Así que debido a esto, también estoy satisfecho, porque además del aprendizaje que me dejó este servicio social, el hecho de retribuirle a la sociedad y principalmente a estos sectores de áreas rurales con mi trabajo, es una buena manera de contribuir para que estas personas puedan tener acceso a esta tecnología y servicios.

Además, con dichos servicios se contribuye también al desarrollo individual de estas poblaciones y en consecuencia al desarrollo del país en vías a un país en que en cada uno de sus territorios cuente con la infraestructura y la tecnología necesaria para estar a la vanguardia en materia de Telecomunicaciones.

REFERENCIAS

- [1] Ibarra Raúl. Principios de teoría de las comunicaciones, ed. Limusa 1999.
- [2] Maral Gerard. VSAT Networks, ed. John Wiley and sons 1998.
- [3] Rosado Carlos. Comunicación por satélite, principios, tecnologías y sistemas, ed. Limusa 1999.
- [4] Neri Rodolfo. Comunicaciones por satélite. Editores Thomson 2003.
- [5] Manual Gilat: Sistema Dial Aw@y IP.
- [6] MOVISAT. Manual de Estaciones Terrenas MOVISAT.
- [7] Manual de mantenimiento del HPA Klystron, Varian.
- [8] <http://www.agenciaespacial.cl>
- [9] <http://www.angelfire.com/electronic/vikram/tech/vsattut.html>
- [10] <http://www.gilat.com>
- [11] <http://www.mediasoluciones.com/acimut/>
- [12] <http://www.upv.es>
- [13] <http://www.spacenet.com>
- [14] <http://www.spacenetrural.com/>