



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Diseño, Implementación y Reactivación de la antena
Parabólica de la FIEC para recepción satelital y software
e interfase para su posicionamiento.”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del título:

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Presentado por:

**José Félix Morán Augusto
Héctor Rubén Fiallos López**

Guayaquil-Ecuador

2005

Considero un deber expresar mi agradecimiento a Dios, que por medio de su hijo Jesús me ha dado la oportunidad de experimentar su infinito amor y ayuda. A mis Padres Félix Morán y Regina Agosto y a mi hermana Elizabeth y a Mayling, quienes compartieron mi objetivo, me apoyaron, comprendieron en los momentos difíciles que tuvimos que afrontar y mis ausencias. Al Ing. Marco Pazmiño, Director de esta Tesis, por sus consejos y guía; Al Ing. Carlos Monsalve, Decano de la FIEC, por su apoyo a nuestro proyecto; A la ESPOL; al proyecto VLIR; a mis profesores, a mis compañeros y amigos del IEEE, Al Ing. Richar Valarezo y a mis compañeros de trabajo .

Gracias a todas aquellas personas cuya sabiduría, confianza y colaboración testifican la Omnipotencia y Voluntad de mi Señor en esta etapa de mi vida.

José Félix Morán Agosto

De existir un ser Superior, agradezco el haberme permitido vivir La Vida en este instante, en este tiempo. Agradezco a mis padres Lourdes López Llorente y Rubén Fiallos Sánchez quienes fueron mis primeros pilares para forjar mi carácter y haber heredado sus genes, los cuales me sirvieron para dejar las huellas en mi querida ESPOL, que me permitieron ser un estudiante destacado en mis estudios así también el haber sido Primer Presidente de la AEFIEC, la formación de la rama estudiantil del IEEE-ESPOL. A mi hermano Douglas Fiallos López quien siempre me ha entendido y ayudado sin haberse dado él cuenta. Agradezco a mi prometida María Alexandra Baca Izquierda quien supo guiarme en mis momentos difíciles y escucharme a cada instante. A mis amigos de la AEFIEC, con quienes juntos formamos el IEEE-ESPOL, a cada uno de ellos mi mensaje de agradecimiento el cual está impregnado en sus mentes. A mi amigo José Morán Augusto quien con su valioso aporte pudimos culminar este proyecto que beneficia a la educación universitaria y que su aplicación futura tendrá mayores créditos. A mis profesores quienes supieron conducirme con rectitud en el camino pedregoso de las vanidades. A mi director de Tesis Ing. Marco Pazmiño quien junto a nuestra idea inicial supo orientarnos de una manera Especial para el inicio y la terminación de la misma. Al Ing. Carlos Monsalve, Decano de la FIEC, quien con su apoyo nos condujo a que el VLIR financie este proyecto. Al Dr. Cristóbal Mera, Ex Decano de la FIEC quien nos dio la apertura para hacer que nuestra idea se haga realidad.

*“Es mejor encender una vela que maldecir a la oscuridad”
Karl Sagan*

Héctor Rubén Fiallos López

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

ING. MARCO PAZMIÑO BARRENO
Director de Tesis

ING. HERNAN GUTIERREZ VERA
Subdecano Encargado FIEC

ING. WASHINGTON MEDINA
MIEMBRO PRINCIPAL

ING. PEDRO VARGAS GORDILLO
MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.”

José Félix Morán Augusto

Héctor Rubén Fiallos López

RESUMEN

La Antena Parabólica de la FIEC que fue implementada en el año 1996 prestó poco tiempo de servicio, por lo que quienes realizamos esta tesis consideramos imperativo el solucionar los problemas que dicha antena poseía fueran esos mecánicos o electrónicos. El avance de la tecnología y el ningún uso que se le dio a esa infraestructura nos motivaron a modernizar la antena cambiando su rango de giro de 0 a 90° al rango de 0 a 180° con el propósito de captar la señal de televisión de mas satélites, utilizar receptores de televisión analógica y digital y desarrollar una implementación que permita al usuario de este sistema de manera clara obtener señales en bandas C y Ku con polaridad Horizontal y Vertical para ambas bandas . Adicionalmente consideramos conveniente que el posicionamiento de la antena se realice mediante un software desde el computador que conectado a una interfase electrónica permita realizar esta tarea sensando la posición actual del sistema a cada instante mediante el uso de un inclinómetro electrónico y no como se hace tradicionalmente en los receptores que incorporan posicionadores sin ningún tipo de realimentación donde el rango y los límites de movilización pueden variar.

En el capítulo 1 se muestra un marco teórico donde se exponen características de las ondas electromagnéticas y la antena. En el capítulo 2 mostramos los parámetros necesarios para el diseño de una antena parabólica. En el Capítulo 3 se habla de los componentes de los satélites, sus órbitas, presupuesto de enlace y estaciones de televisión satelital. En el capítulo cuatro mostramos el desarrollo de los trabajos y cambios realizados en la antena parabólica de la FIEC. En el capítulo 5 presentamos el desarrollo de los aspectos inherentes a la construcción de la interfase electrónica, el software, su intercomunicación y las señales electrónicas de control para activar el motor de la antena y recibir información del sensor de inclinación. En el capítulo 6 proponemos varias aplicaciones de la antena parabólica de la FIEC y proponemos que nuestra Universidad se anexe a la red ATEI para la recepción y producción de programas educativos y el desarrollo de un sistema de educación a distancia. En adición a nuestras Conclusiones y Recomendaciones entregamos un procedimiento de operación de la antena y un manual de mantenimiento con el objeto de preservar la inversión realizada y que el sistema se mantenga operativo por varios años.

La televisión satelital y la educación a distancia son las herramientas para la educación del presente y del futuro, y la ESPOL no se puede quedar fuera de esta tendencia que permite la extensión de las instituciones educativas y

permitirá la formación integral y al mayor acceso a la misma de nuestros conciudadanos.

INDICE GENERAL

	PAGINA
INDICE DE FIGURAS	XVII
INDICE DE TABLAS	XXII
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS Y LA ANTENA	4
1.1. Ondas Electromagnéticas	4
1.1.1. Velocidad de Onda	5
1.1.2. Frecuencia y Longitud de Onda	5
1.1.3. Relación Espacio-Tiempo	6
1.1.4. Rayos y Frentes de Onda	7
1.1.5. Ondas Esféricas y Ley del Cuadrado Inverso	8
1.1.6. Intensidad de Campo y Densidad de Potencia	10
1.1.7. Principios Ópticos de las Ondas de Radio	11
1.1.7.1. Refracción	11
1.1.7.2. Reflexión	13

1.1.7.3. Interferencia	15
1.1.7.4. Principio de Huygens: Difracción	16
1.1.8. Polarización de Ondas Electromagnéticas	17
1.2. Propagación de ondas Electromagnéticas	20
1.2.1. El ambiente Terrestre	20
1.2.2. Radiocomunicación por onda de Tierra	22
1.2.3. Propagación Transionosférica	23
1.3. Líneas de Transmisión, Guías de Ondas y Modos de Transmisión	25
1.3.1. Líneas de Transmisión	25
1.3.2. Guías de Ondas y Modos de Transmisión	29
1.4. Antenas	33
1.4.1. Bandas y Frecuencias	33
1.4.2. Definición de Antena y parámetros Fundamentales	36
1.4.2.1. Densidad de Potencia Radiada	37
1.4.2.2. Directividad	38
1.4.2.3. Ganancia	40
1.4.2.4. Impedancia	41
1.4.2.5. Adaptación	43
1.4.2.6. Longitud y Área efectivas	44
1.4.3. Principios Básicos de funcionamiento	44

1.4.4. Tipos de Antenas	46
CAPITULO 2. ANTENAS PARABÓLICAS	48
2.1. Superficies Reflectoras	48
2.2. Aperturas Quasi-Ópticas	51
2.2.1. Aberración esférica	52
2.2.2. Sistema Parabólico	52
2.2.3. Sistema Cassegrain	53
2.2.4. Sistema Gregoriano	54
2.2.5. Sistema Newtoniano	55
2.2.6. Sistema Offset	56
2.2.7. Lentes de Fresnel	57
2.2.8. Espejo Cóncavo	58
2.3. Reflectores Parabólicos	58
2.3.1. Parábola	59
2.4. Diagrama de Radiación y Ganancia de un Reflector Parabólico	61
2.4.1. Diagrama de Radiación	61
2.4.2. Eficiencia de una antena con reflector Parabólico	62
2.4.3. Ganancia de una antena con reflector	64

Parabólico	
2.5. Relación f/D	67
2.5.1. Fuentes primarias para alimentar reflectores parabólicos	70
2.5.2. Amplificadores de Bajo Ruido	72
2.5.2.1. LNA	73
2.5.2.2. LNB	73
2.5.2.3. LNC	74
2.5.2.4. LNBF	74
2.6. Aspectos Constructivos	74
2.7. Aplicaciones	76
2.8. Calculo y diseño de una Antena Parabólica	77
CAPITULO 3. SATELITES Y ESTACIONES DE RECEPCIÓN SATELITAL	82
3.1. Componentes básicos de un Satélite	82
3.1.1. Componentes Electrónicos	83
3.1.2. Componentes Mecánicos	86
3.1.3. Obtención de Energía para el Satélite	88
3.2. Órbitas	91
3.2.1. Órbita Geoestacionaria	93
3.2.2. Órbita Polar	97

3.3. Enlaces Satelitales	98
3.3.1. Aplicaciones Comerciales	99
3.3.1.1. Enlaces de Datos	100
3.3.1.2. Provisión de Señales de Televisión Vía Satélite	105
3.3.1.3. Localización	111
3.3.2. Aplicaciones Científicas y Militares	114
3.4. Ruido, Interferencia y factores de degradación de señal	115
3.4.1. Ruido Térmico	116
3.4.2. Relación de Degradación de Señal a Ruido	118
3.4.3. Fuentes de Ruido y Pérdida de señal para un enlace satelital	119
3.5. Requerimientos para una estación de recepción de Televisión Satelital	125
CAPITULO 4. CASO DE ESTUDIO: LA ANTENA PARABOLICA DE LA FIEC	129
4.1. Datos y ubicación de la estación	129
4.2. Diagnostico de la situación inicial de la antena previo a su reparación	130
4.2.1. Problemas de Diseño Mecánico	131
4.2.2. Situación del Receptor Satelital	132

4.2.3. Situación del Brazo Hidráulico y del Motor	133
4.2.4. Situación del alimentador y el cableado de la estación	134
4.3. Rediseño de la antena parabólica de la FIEC	136
4.3.1. Superficie Reflectora	136
4.3.2. Cambio de característica de giro hasta 180°	139
4.3.2.1. Cremallera	141
4.3.2.2. Contrapeso	143
4.3.2.3. Criterio para la selección de cables y conectores	145
4.4. Selección del nuevo alimentador	148
4.5. Selección e instalación de los LNB	150
4.6. Ajustes necesarios para la operación de la Antena Parabólica	152
4.7. Nuevas condiciones de la antena de la FIEC y su movilidad	155
CAPITULO 5. INTERFASE Y SOFTWARE PARA POSICIONAMIENTO AUTOMATICO DE LA ANTENA DE LA FIEC	159
5.1. Motores de paso	159
5.2. Circuitos de manejo de motores DC	162
5.3. La Interfase de comunicación serial del Computador	166

5.4. Microcontroladores	168
5.4.1. Origen	169
5.4.2. Microcontroladores de 8 y 16 bits	173
5.4.3. Familias y Fabricantes	176
5.5. Diseño de la Interfase para posicionamiento de la Antena	177
5.5.1. Fuente de Alimentación	179
5.5.2. Criterios para la selección del Microcontrolador	181
5.5.2.1. Requerimientos de programación	184
5.5.2.2. Convertidor Analógico-Digital	186
5.5.2.3. Circuitería complementaria para su trabajo	189
5.5.3. Acoplamiento de niveles de voltaje de la Interfase RS-232 y TTL	192
5.5.4. Circuito de manejo del Motor	195
5.5.5. El sensor de Inclinación como elemento de Realimentación	197
5.6. Diseño del software para movimiento de la antena	199
5.6.1. Selección de la herramienta de Programación	200
5.6.2. Definición de los tipos de usuarios	201
5.6.3. Manejo de la lista de satélites	203
5.6.4. Criterios para la selección de canales y	204

programación adecuados	
5.6.5. Diseño de la Interfase Grafica del Usuario	205
5.7. Acoplamiento de la Interfase y el Software	207
5.8. Funcionamiento Integral del Proyecto	208
CAPITULO 6. APLICACIONES PROPUESTAS PARA LA ANTENA PARABOLICA DE LA FIEC	213
6.1. Recepción de Televisión: Uso de programas educativos para difusión a nivel local	213
6.2. Recepción Satelital de conferencias: Herramienta de la Educación a Distancia.	217
6.3. Elementos y requisitos para la implementación de Video-Conferencias	221
6.4. Laboratorio de Telecomunicaciones: Una nueva práctica para esa materia	227
6.5. El Sistema como elemento de apoyo a la Carrera de Sistemas Multimedia	230
6.6. Aplicaciones futuras del Proyecto	232
CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	235
APENDICES Y ANEXOS	242
A.1. Procedimientos de operación de la antena	242

A.2. Manual de Mantenimiento	245
ABREVIATURAS Y SIGLAS	266
BIBLIOGRAFÍA	270

INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
Figura 1-1 Rayos y frentes de Onda	8
Figura 1-2 Refracción	12
Figura 1-3 Reflexión y Refracción	14
Figura 1-4 Principio de Huygens	16
Figura 1-5 Esfera de Poincare	17
Figura 1-6 Polarización	19
Figura 1-7 Propagación en el ambiente terrestre	21
Figura 1-8 Radiocomunicación por onda de Tierra	23
Figura 1-9 Propagación transionosférica	24
Figura 1-10 Distribución de I y V en una línea de transmisión	26
Figura 1-11 Formación de una guía de onda a partir de stubs	28
Figura 1-12 La guía de onda como filtro pasa-altos	29
Figura 1-13 Guía de onda rectangular	30
Figura 1-14 E y H para el modo dominante de propagación	31
Figura 1-15 Modos de propagación de segundo orden	33
Figura 1-16 Espectro Radioeléctrico	34

Figura 1-17	Dipolo de Hertz y longitudes para resonancia	46
Figura 2-1	Formación de un frente de onda plano	49
Figura 2-2	Formación de una superficie reflectora	50
Figura 2-3	Rayos sobre un Reflector Parabólico	51
Figura 2-4	Aberración esférica	52
Figura 2-5	Sistema Óptico Parabólico	53
Figura 2-6	Sistema Óptico Cassegrain	54
Figura 2-7	Sistema Óptico Gregoriano	55
Figura 2-8	Sistema Óptico Newtoniano	56
Figura 2-9	Sistema Óptico OFFSET	57
Figura 2-10	Lentes de Fresnel	57
Figura 2-11	Espejo Cóncavo	58
Figura 2-12	Reflectores Parabólicos	59
Figura 2-13	Parábola	60
Figura 2-14	Diagrama de Radiación de un sistema con reflector parabólico	62
Figura 2-15	Relación Ganancia, Angulo de media potencia y Diámetro del reflector	66
Figura 2-16	Angulo sólido formado por un paraboloide y su foco	67
Figura 2-17	Reflector Parcialmente Iluminado	68
Figura 2-18	Desborde de energía por reflector mal iluminado	68
Figura 2-19	Lóbulos de radiación de un sistema con reflector parabólico	69
Figura 2-20	Disminución de lóbulos laterales de un sistema con reflector parabólico	69

Figura 2-21	Iluminación de reflectores	72
Figura 2-22	LNBF Amplificadores de bajo ruido con alimentador incorporado.	74
Figura 2-23	Determinación de las dimensiones de un sistema parabólico	77
Figura 2-24	Selección del diámetro del paraboloide en función de la ganancia	78
Figura 3-1	Sistema generalizado de Telemetría	84
Figura 3-2	Estructuras típicas de satélites	87
Figura 3-3	Sistema Básico de Potencia primaria Solar	90
Figura 3-4	Orbita Polar (Molniya)	98
Figura 3-5	Transmisión de señal DVB-S de varios programas en un solo transponder	109
Figura 3-6	Orbitas descritas por los satélites de la red GPS	112
Figura 4-1	Antena de la FIEC con el antiguo sistema de movilización	134
Figura 4-2	Limpieza y mantenimiento de la superficie reflectora	137
Figura 4-3	Uso de herrajes para asegurar el foco del paraboloide	138
Figura 4-4	Retiro del brazo hidráulico de la antigua configuración para posicionamiento de la antena	140
Figura 4-5	La antena de la FIEC quedo embancada para colocar los nuevos elementos para posicionamiento	141
Figura 4-6	Colocación de la Cremallera y el reductor de velocidad para que la antena gire de 0° hasta 180°	142
Figura 4-7	Contrapeso y Cremallera permiten que la estructura este balanceada y trabaje de manera segura	144
Figura 4-8	Cableado de la estación en la terraza de los Laboratorios, nueva ducteria y canaletas	147
Figura 4-9	Alimentador marca Chaparral modelo Bullseye II seleccionado para nuestra implementación.	149
Figura 4-10	Alimentador (feeder) de cuatro bocas para recepción en banda C V/H y Ku V/H, ya instalado en la antena	150
Figura 4-11	Instalación de los LNB en el alimentador de la antena parabólica.	151

Figura 4-12	Apuntamiento en elevación	153
Figura 4-13	Motor de posicionamiento acoplado al reductor de velocidad	156
Figura 4-14	Sistema de posicionamiento completo	156
Figura 4-15	Vista completa de la antena parabólica de la FIEC	157
Figura 4-16	Vista de los receptores y componentes de la Mesa de Trabajo	158
Figura 5-1	Motor de Reluctancia Variable	160
Figura 5-2	Motor de Paso unipolar	161
Figura 5-3	Motor Bipolar	162
Figura 5-4	Esquema del Puente H	162
Figura 5-5	Modo Adelante en el Puente H	163
Figura 5-6	Modo decaimiento rápido	164
Figura 5-7	Modo de decaimiento lento o frenado dinámico	165
Figura 5-8	Control del Puente H con dos Bits	165
Figura 5-9	Transmisión de un carácter por el puerto serial y de manera asincrónica	168
Figura 5-10	Ciclo de instrucción de un microcontrolador	170
Figura 5-11	Esquema general de un pin que actúa como entrada o salida de un microcontrolador	172
Figura 5-12	Diagrama de bloques de un microcontrolador básico	172
Figura 5-13	Esquema simplificado de la interfase de posicionamiento de la antena	179
Figura 5-14	Fuentes de Alimentación de la Interfase	181
Figura 5-15	Vista del microcontrolador seleccionado PIC12F675	183

Figura 5-16	Ambiente integrado de desarrollo MPLAB	184
Figura 5-17	Ensamblador para Microchip MPASM	185
Figura 5-18	Estructura del convertidor A/D del PIC12F675	187
Figura 5-19	Estructura del registro ADCON0	188
Figura 5-20	Estructura del registro ANSEL del PIC12F675	189
Figura 5-21	Encapsulado del MCP618	189
Figura 5-22	Encapsulado del TC913A	190
Figura 5-23	Etapa de adaptación de la señal del inclinómetro electrónico	191
Figura 5-24	Conversión de voltajes de la señal serial del computador para uso de la interfase	193
Figura 5-25	Conexión entre el Microcontrolador y el MAX232	194
Figura 5-26	Pines de Tx y Rx para conectores DB9 y DB25	195
Figura 5-27	Manejador del motor de 36 VDC	197
Figura 5-28	Vista del sensor de inclinación Spectron	198
Figura 5-29	Entorno de Programación de Visual Basic	201
Figura 5-30	Ventana para el ingreso de usuario y contraseña	203
Figura 5-31	Ventana de la Base de datos de SATTRACKER	204
Figura 5-32	Ventana del software SATTRACKER en operación	206
Figura 5-33	Ajuste fino de la posición del satélite	206
Figura 5-34	Caja de intemperie usada para guardar interfase	210
Figura 5-35	Cableado hacia la interfase	211

Figura 5-36	Foto de la Antena Parabólica de la FIEC totalmente habilitada.	211
Figura 6-1	Esquema de una red de videoconferencias de ATEI	222
Figura 6-2	Equipo MCU utilizado por la red ATEI, permite comunicación en líneas RDSI o vía IP	223

INDICE DE TABLA

		PAGINA
Tabla 1.1	Bandas y longitudes de onda	34
Tabla 1.2	Bandas de televisión y FM comercial	35
Tabla 1.3	Bandas para comunicaciones satelitales y radar	35
Tabla 1.4	Bandas para infrarrojos, luz visible y ultravioleta	36
Tabla 3.1	Satélites de la órbita geoestacionaria	95
Tabla 5.1	Modos de Operación del Puente H controlado con 4 y 2 bits.	165
Tabla 5.2	Microcontroladores con mayores prestaciones y sus fabricantes	177
Tabla 6.1	Miembros ecuatorianos de red ATEI, proveedores de educación a distancia y generadores de programación educativa.	217

INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación cuenta entre sus bienes con una antena parabólica que fue instalada en el año 1996 por los alumnos de un Tópico de graduación. En ese entonces la estación de recepción satelital contaba con la antena, el cableado correspondiente y un equipo de recepción analógico. Una de las características del sistema parabólico era su movilidad de 0 hasta 90 grados, pero debido a deficiencias y mal diseño mecánico los dispositivos encargados de posicionar la antena sufrieron severos daños, y los efectos ambientales provocaron corrosión. Como lo demostraremos en el capítulo correspondiente, la falta de mantenimiento, la mala disposición del cableado y el paso del tiempo volvieron a este sistema inoperable.

La evolución de los sistemas de televisión satelital a formatos digitales, la disminución de los costos de los equipos de recepción, y la necesidad de involucrar a nuestra universidad a la era de la televisión educativa nos motivaron a trabajar en la reactivación de la antena de la FIEC, para la recepción de señales con contenido eminentemente educativo, para el beneficio de todos los estudiantes de nuestra Facultad.

El propósito de nuestra tesis es el diseño de un sistema parabólico móvil, capaz de orientarse de 0 a 180 grados con el propósito de recibir señal de una mayor cantidad de satélites, basado en la antena que posee la Facultad. La implementación del sistema móvil incluye el diseño de una interfase electrónica para que dicho posicionamiento sea automático y computarizado, utilizando dispositivos programables y comunicación serial con el computador. Estos factores convergen en la aplicación del sistema para recepción de televisión satelital abierta en formatos tanto analógico como digital en las bandas de frecuencias C y Ku, cualidades que la diferencian notablemente de la primera implementación.

Adicionalmente proponemos alternativas para que se de la mejor aplicación al sistema tanto para la recepción de conferencias y el fortalecimiento de los conocimientos de profesores y estudiantes, como convenios con instituciones académicas, sean estas universidades u organizaciones como ATEI o EDUSAT para la generación de una programación propia de la ESPOL.

En el área de aprendizaje, esta implementación permitirá a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones realizar practicas de Laboratorio, comprobando la calidad de la señal dependiendo de si es analógica o digital. Incluimos en esta tesis el procedimiento para

uso del sistema parabólico y un manual de mantenimiento que resumirán los pasos para que perdure este sistema por mucho mas tiempo.

Para la carrera de Sistema Multimedia, la recepción de programación satelital les permitirá utilizar la señal para sus prácticas, analizar las novedades en animación y producción de videos, dado que un sistema como éste, es un componente básico de una estación de televisión.

El beneficio para todos los estamentos de la FIEC es por demás evidente, lo que justifica la utilidad de nuestro proyecto, que será completamente sustentado en los capítulos a continuación.

CAPITULO 1

1. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS Y LA ANTENA

1.1.ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Las ondas electromagnéticas son variaciones de los campos eléctrico y magnético que pueden ocurrir tanto en el espacio vacío como en otros materiales.

Todas las ondas están caracterizadas por una propiedad llamada propagación. Las vibraciones en un punto particular en el espacio excitan similares vibraciones en los puntos circundantes, así las ondas viajan y se propagan por sí mismas. La sustancia o el espacio en particular en el que existe la onda es el medio de propagación. Las

características de las ondas electromagnéticas se detallan a continuación.

1.1.1. VELOCIDAD DE ONDA

Las ondas viajan a velocidades características dependiendo del tipo de onda y de la naturaleza del medio de propagación. En el caso de las ondas electromagnéticas, estas viajan a la velocidad de la luz que es designada con el símbolo c , es decir 300000 Km/s en el espacio libre, y con velocidades menores en otros medios de propagación. En los gases de la atmósfera terrestre la velocidad de las ondas electromagnéticas es ligeramente menor y para propósitos prácticos no se observa esa diferencia excepto en caminos muy largos.

1.1.2. FRECUENCIA Y LONGITUD DE ONDA

Las oscilaciones de las ondas son periódicas y son caracterizadas por una *frecuencia* que es la tasa a la cual el movimiento periódico se repite a sí mismo observando un punto particular en el medio de propagación. La frecuencia es expresada en ciclos por segundo Hz. El movimiento de una onda de frecuencia única tiene la forma de una senoide.

La longitud de onda de una onda electromagnética es la separación espacial de dos oscilaciones sucesivas que es igual a la distancia que recorre la onda en un ciclo. Por consiguiente, si la velocidad de onda es v metros por segundo y la frecuencia es f ciclos por segundo, la longitud de onda en metros es:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1-1)$$

Utilizando el valor de c si el medio de propagación es el espacio libre, entonces λ es la longitud de onda en el espacio libre.

1.1.3. RELACIÓN ESPACIO-TIEMPO

Una onda electromagnética tiene dos componentes, un campo eléctrico y un campo electromagnético, y cada componente varía sinusoidalmente en el tiempo en un punto fijo del espacio. También en un instante de tiempo hay una variación sinusoidal en el espacio a lo largo de la dirección de propagación con periodo espacial $\lambda=v/f$ metros.

En términos de un sistema de coordenadas cartesianas (x, y, z) si el campo eléctrico se representa como un vector paralelo al eje x y la onda se esta propagando en el sentido del eje z, el campo magnético H será representado por vectores paralelos al eje y.

Estas relaciones de espacio- tiempo para una onda plana son expresadas por las ecuaciones (1-2) y (1-3).

$$E_x(z, t) = E_0 \text{sen}\left(2\pi ft - \frac{2\pi z}{\lambda} + \phi\right) \quad (1-2)$$

$$H_y(z, t) = H_0 \text{sen}\left(2\pi ft - \frac{2\pi z}{\lambda} + \phi\right) \quad (1-3)$$

1.1.4. RAYOS Y FRENTES DE ONDA

Un rayo es una línea dibujada a lo largo de la dirección de propagación de la onda. Un frente de onda es una superficie de fase constante de la onda. Si la onda es plana, las superficies serán perpendiculares a la dirección de propagación. Cualquier fuente puntual en el espacio libre

generará una onda esférica, y conforme la distancia desde la fuente que genera las ondas aumenta, dicha fuente puede ser considerada como puntual. A gran distancia de la fuente, una porción de la superficie esférica puede ser considerada un plano.

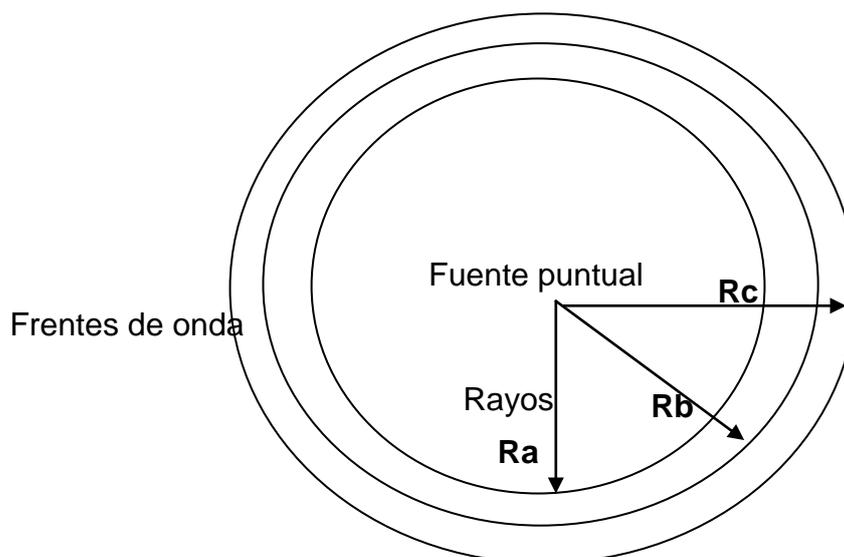


Figura 1-1 Rayos y Frentes de onda

1.1.5. ONDAS ESFÉRICAS Y LA LEY DEL CUADRADO INVERSO

Una de las leyes fundamentales de la física es la Ley de Conservación de la Energía. Una onda electromagnética representa un flujo de energía en la dirección de propagación. La tasa en la que la energía fluye a través de una unidad de área en el espacio es llamada Densidad de Potencia de la onda usualmente expresada en Vatios por metro cuadrado. Si

la fuente radia potencia a una tasa uniforme en todas las direcciones la potencia fluyendo a través de cualquier superficie esférica centrada en la fuente será uniformemente distribuida sobre dicha superficie y debe ser igual a la potencia total radiada. Este tipo de fuente es llamado *isótropo*.

Si tomamos por ejemplo la superficie B en la figura anterior, La densidad de potencia en dicha superficie será:

$$P_B = \frac{P_t}{4 * \pi * R_B^2} \quad (1-4)$$

Si calculamos la densidad de potencia en la superficie C y dividimos la densidad de potencia en el punto B sobre la del punto C obtenemos:

$$\frac{P_B}{P_C} = \left(\frac{R_C}{R_B} \right)^2 \quad (1-5)$$

lo que demuestra que la densidad de potencia es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la fuente, esta relación es conocida como la Ley del cuadrado inverso.

1.1.6. INTENSIDAD DE CAMPO Y DENSIDAD DE POTENCIA

La densidad de potencia del campo esta relacionado a las intensidades eléctricas y magnéticas de la misma manera que la potencia en un circuito esta relacionada con el voltaje y la corriente. Aplicando valores de intensidades de campo efectivas RMS se deriva que la densidad de potencia es igual a

:

$$(1-6)$$

$$P = 0.5 * E_0 * H_0$$

Donde E_0 y H_0 son los valores pico de Intensidades de campo eléctrico en Voltios por metro y magnético y P expresada en Vatios por metro cuadrado.

Aplicando la ley del cuadrado inverso el resultado es:

$$\frac{E_B}{E_C} = \frac{R_C}{R_B} \quad (1-7)$$

que establece que la intensidad de campo eléctrico es inversamente proporcional a la distancia previa desde la fuente. Estas son maneras de expresar como la onda

electromagnética es atenuada con el incremento de la distancia desde la fuente.

1.1.7. PRINCIPIOS ÓPTICOS DE LAS ONDAS DE RADIO

En un ambiente como la tierra en la que las ondas electromagnéticas no se encuentran en el espacio libre, se presentan diversos efectos: refracción, reflexión, interferencia y difracción.

1.1.7.1. REFRACCIÓN

Cuando una onda pasa de una región a otra en la que la velocidad de onda es mas rápida o mas lenta , ocurre la refracción. Toma lugar cuando las dos regiones están separadas por una frontera difusa o cuando la velocidad de onda varia gradualmente y aproximadamente en forma lineal sobre una región que es grande en comparación con la longitud de onda.

La figura 1-2 muestra el fenómeno de refracción en una frontera plana, una onda plana viaja a través de un medio 1 hacia la superficie de frontera, la dirección es definida por el ángulo de incidencia θ_1 de los rayos con

respecto a la normal a la superficie, se asume que la velocidad de onda v_2 en el medio 2 es menor que la velocidad v_1 en el medio 1.

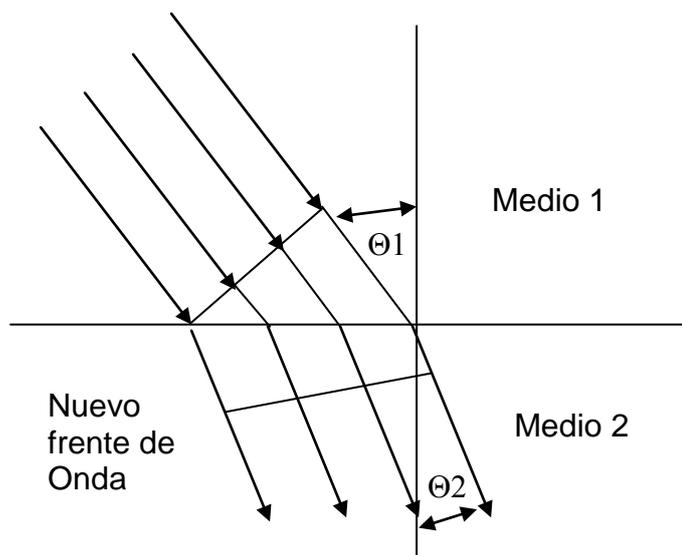


Figura 1-2 Refracción

La relación que existe entre la velocidad de onda en cada medio, los ángulos θ_1 y θ_2 , los índices de refracción n_1 y n_2 , y las constantes dieléctricas de los medios K_1 y K_2 se define con la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{K_2}{K_1}} \quad (1-8)$$

La constante dieléctrica del aire es aproximadamente igual a 1 y esta se aplica también al vacío.

1.1.7.2. REFLEXIÓN

En la discusión anterior acerca de refracción se implicó que toda la potencia de la onda electromagnética pasaba desde el medio 1 al medio 2, pero eso no es verdad, debido a que parte de la energía de la onda que incide en la superficie de frontera del medio 2 se refleja. La reflexión es la formación de un nuevo frente de onda que viaja en el medio 1 desde la superficie de frontera. La relación de la intensidad de campo eléctrico de la onda reflejada con la onda incidente se denomina el coeficiente de reflexión Γ , este coeficiente no solo representa amplitudes relativas sino también desplazamiento de fase, es decir Γ es un número complejo. La ecuación 1-9 es la definición del coeficiente Γ , en la que, el ángulo ϕ_r es el ángulo de fase del coeficiente de reflexión.

$$\Gamma = |\Gamma| * e^{j\phi_r} \quad (1-9)$$

En la siguiente figura se muestran los fenómenos de reflexión y refracción.

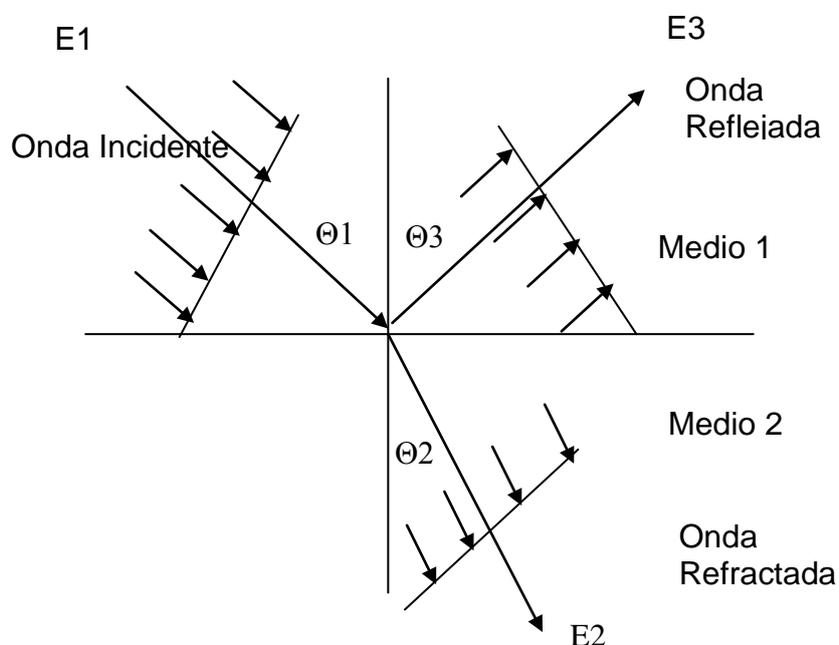


Figura 1-3 Reflexión y Refracción

Si las intensidades de campo eléctrico incidente y reflejado son E_1 y E_3 respectivamente con ángulos de fase individuales ϕ_1 y ϕ_3 el coeficiente Γ se determina con la ecuación 1-10.

$$\Gamma = \frac{E_3}{E_1} = \frac{|E_3| * e^{j*\phi_3}}{|E_1| * e^{j*\phi_1}} = \frac{|E_3|}{|E_1|} * e^{j*(\phi_3 - \phi_1)} \quad (1-10)$$

La amplitud del coeficiente de reflexión es dado por la división de las amplitudes de campo eléctrico reflejado

versus incidente y la fase del coeficiente de reflexión es dada por la diferencia de los ángulos de fase reflejado e incidente.

1.1.7.3. INTERFERENCIA

Los principios de reflexión e interferencia son básicos en la óptica geométrica, pero existen principios adicionales que explican fenómenos reales en la óptica física. Tanto en el espacio libre como en muchos otros medios las ondas electromagnéticas están sujetas al importante principio de superposición sobre el cual está basado el concepto de interferencia.

La Interferencia ocurre cuando dos o más ondas electromagnéticas existen simultáneamente en el mismo punto en el espacio. Sabemos que los campos eléctricos y magnéticos son cantidades vectoriales, por lo que las intensidades de los campos que son componentes de las ondas electromagnéticas presentes en un medio en el mismo punto se suman vectorialmente.

1.1.7.4. PRINCIPIO DE HUYGENS: DIFRACCIÓN.

Los fenómenos de reflexión y refracción analizados anteriormente se referían a superficies grandes con relación a la longitud de onda, pero cuando un frente de onda encuentra un obstáculo o discontinuidad que no es grande en comparación de la longitud de onda, los simples principios de la óptica geométrica no pueden ser utilizados. El principio de Huygens postula que un frente de onda esta compuesto de infinitesimales fuentes de ondas esféricas. Si un frente de onda choca con un obstáculo, en el filo del mismo se formara una nueva fuente de ondas esféricas y como resultado una parte de las ondas electromagnéticas cubrirán la región de sombra de dicho obstáculo.

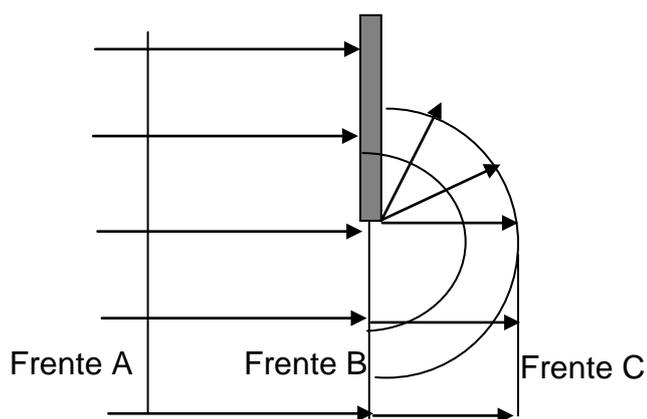


Figura 1-4 Principio de Huygens

1.1.8. POLARIZACIÓN

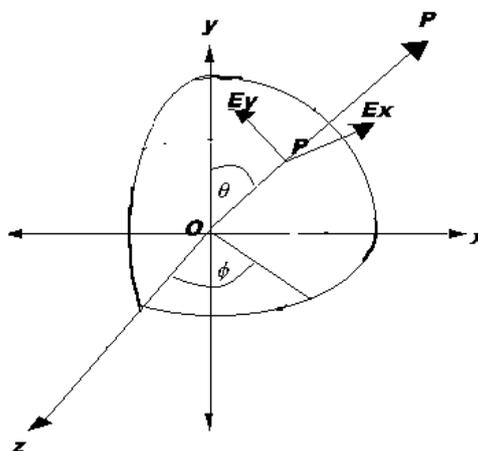


Figura 1-5 Esfera de Poincare

La figura 1-5 muestra la esfera de Poincare, un tipo de cuadrante esférico cuyo centro es O y los filos representan los tres ejes x , y , z . Considere O como la fuente de energía, generando un campo eléctrico, propagándose en la dirección arbitraria OP. En la superficie de la esfera, el frente de onda es perpendicular a la dirección OP. Debido a los ángulos θ y ϕ existirán componentes del campo eléctrico en ambas direcciones: horizontal (E_x) y vertical (E_y). El campo eléctrico total esta dado por:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad (1-11)$$

Esas dos componentes pueden ser representadas por:

$$E_x = E_1 \text{sen}(\omega * t) \quad (1-12)$$

$$E_y = E_2 \text{sen}(\omega * t + \delta) \quad (1-13)$$

Donde E_1 es igual a la amplitud de la onda polarizada en la dirección x , E_2 es igual a la amplitud de la onda polarizada en la dirección y , y δ es el ángulo de fase en el dominio del tiempo por el cual E_x lleva a E_y .

La polarización de la onda depende de las magnitudes relativas de E_1 , E_2 y δ como se tabula abajo:

$$\begin{array}{l} \delta=0 \\ E_1=0 \text{ Polarización lineal en la dirección } y \\ E_2=0 \text{ Polarización lineal en la dirección } x \\ \delta=\pm 90^\circ \\ E_1 \neq E_2 \text{ Polarización elíptica} \\ E_1 = E_2 \text{ Polarización circular} \end{array}$$

Si δ es positivo es una polarización circular o elíptica en el sentido de la mano izquierda (LHC). Si δ es negativo es una polarización circular o elíptica en el sentido de la mano derecha (RHC).

Es necesario anotar que la polarización adoptada por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos de los Estados Unidos (IEEE) es la que tiene polarización circular o elíptica en el sentido de la mano izquierda, desde el punto de vista del transmisor, es decir, que el frente de onda rota en el sentido de las manecillas del reloj cuando se aproxima al receptor, lo que se opone al tomado por la óptica clásica.

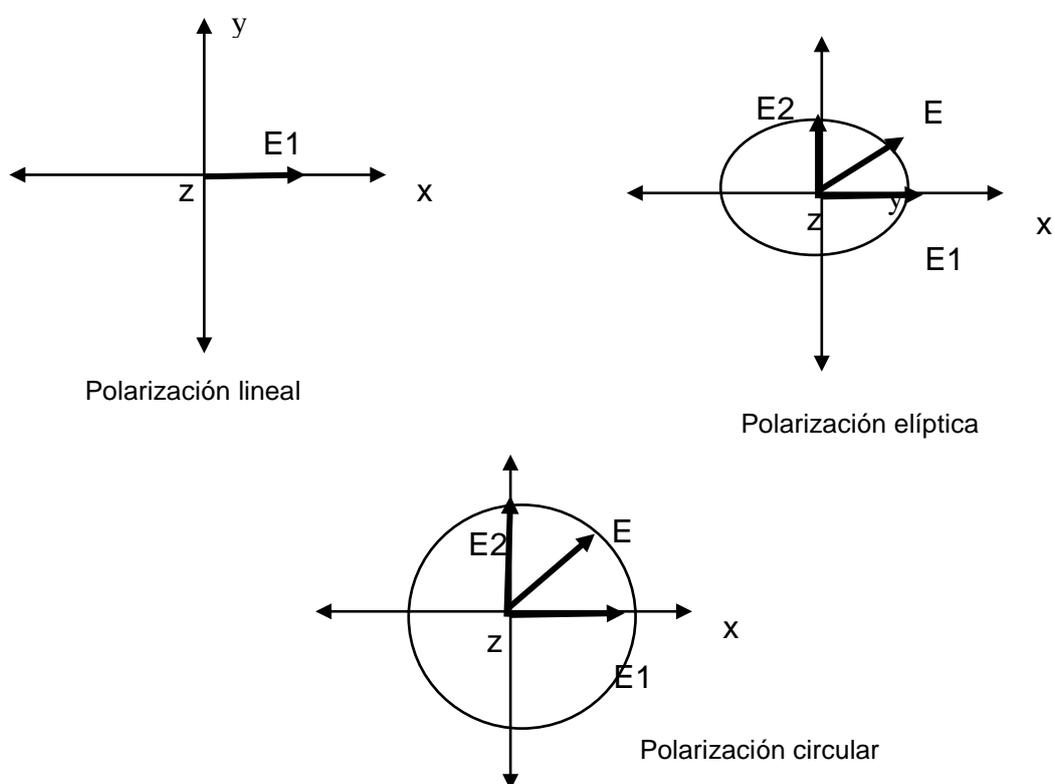


Figura 1-6 Polarización

1.2. PROPAGACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Previamente fueron discutidos los aspectos a la propagación de ondas electromagnéticas en el espacio libre, pero el ambiente en el cual se propagan dichas ondas en la realidad contiene obstáculos, discontinuidades y variaciones de medios de propagación de tal manera que deben ser considerados en los diseños de sistemas de radio.

1.2.1. EL AMBIENTE TERRESTRE.

Históricamente el único ambiente de importancia práctica para la propagación de ondas de radio fue la Tierra y sus alrededores, actualmente la propagación de ondas de radio se realiza incluso al espacio exterior, en el cual de cierta forma se cumplen las condiciones de espacio libre desde la Tierra o cualquier otro cuerpo celeste, al menos sobre una gran parte del camino de propagación. Incluso en la atmósfera terrestre prevalecen condiciones de espacio libre algunas ocasiones, como por ejemplo en distancias cortas entre dos antenas

altamente direccionales. En bajas frecuencias y grandes distancias, los efectos de la superficie terrestre y los gases de la capa inferior de la atmósfera juegan un rol muy importante. La superficie de la tierra es sólida y esencialmente impenetrable para las ondas electromagnéticas lo cual representa un obstáculo por lo que en consecuencia produce una región de sombra como se ilustra en la figura 1-7.

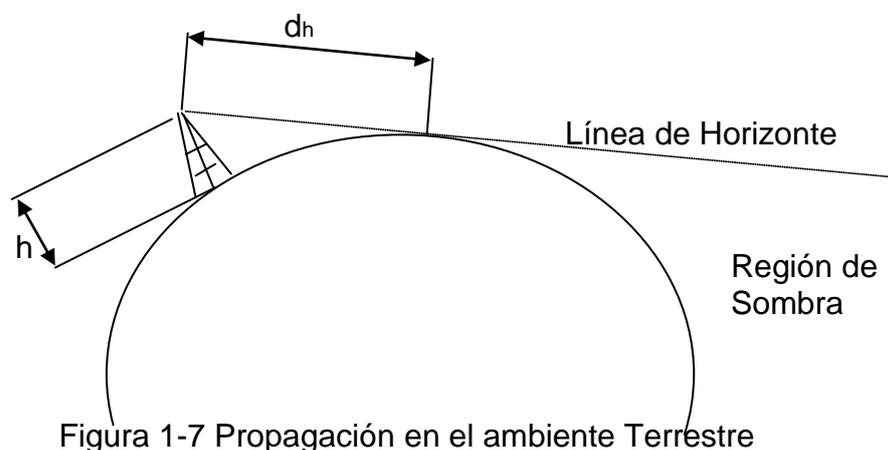


Figura 1-7 Propagación en el ambiente Terrestre

En la región de sombra aparentemente las ondas electromagnéticas no penetraran pero se produce algo de difracción en esa región, a pesar de aquello, el valor de intensidad de campo en la región de sombra es demasiado pequeño para ser utilizado de manera practica, así, la "línea de vista " para una antena de altura h está limitada por la distancia

al horizonte d_h asumiendo que el punto de recepción esta justo en la superficie de la tierra. Esa distancia es dada aproximadamente por la formula 1-14

$$d_h = 3.57 * \sqrt{h} \quad (1-14)$$

Donde h viene dada en metros y d_h esta dada en kilómetros.

1.2.2.RADIOCOMUNICACIÓN POR ONDA DE TIERRA

La onda de tierra es un buen medio para establecer comunicación por radio, pero su eficacia varía dependiendo de la frecuencia de la onda y la potencia de sus componentes. Las comunicación por ondas de tierra poseen tres componentes que son las ondas superficiales ondas reflejadas y onda directa como se muestra en la figura 1-8. A frecuencias relativamente bajas, como las que se usan en transmisión AM comercial la componente de onda superficial es muy intensa. A frecuencias mas altas como las de las bandas VHF y UHF la onda de superficie se vuelve inútil para la comunicación ya que se atenúa demasiado rápido. Por lo tanto las componentes de onda directa y reflejada son usadas en esas transmisiones.

El objetivo de los radio enlaces es ubicar las antenas a una altura considerable de forma que la onda reflejada recorra mayor trayectoria que la onda directa y por lo tanto atenuar su intensidad, para evitar la cancelación de la onda en el receptor. El uso de las ondas directa y reflejada esta limitado a radio enlaces en los que se requiere línea de vista directa entre el transmisor y el receptor.

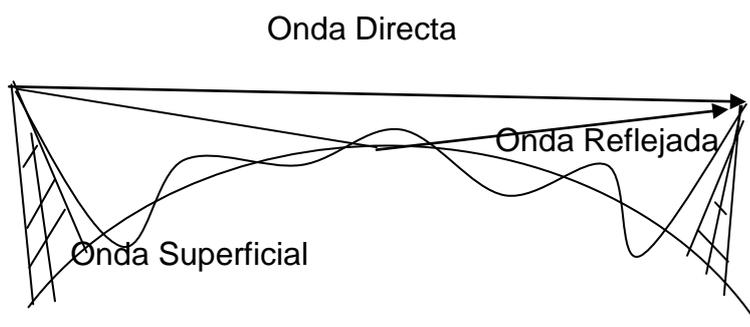


Figura 1-8 Radiocomunicación por onda de Tierra

1.2.3. PROPAGACIÓN TRANSIONOSFÉRICA.

El fenómeno de las ondas electromagnéticas que traspasan la ionosfera es de importancia, aunque en principio el interés radicaba en la capacidad de la ionosfera de reflejar ondas electromagnéticas hacia la tierra. Generalmente las

frecuencias por encima de los 10 MHz pueden atravesar la ionosfera.

Una onda que esta encima de la frecuencia de reflexión critica puede sin embargo ser apreciablemente refractada en su paso a través de la ionosfera como se ilustra en la figura:

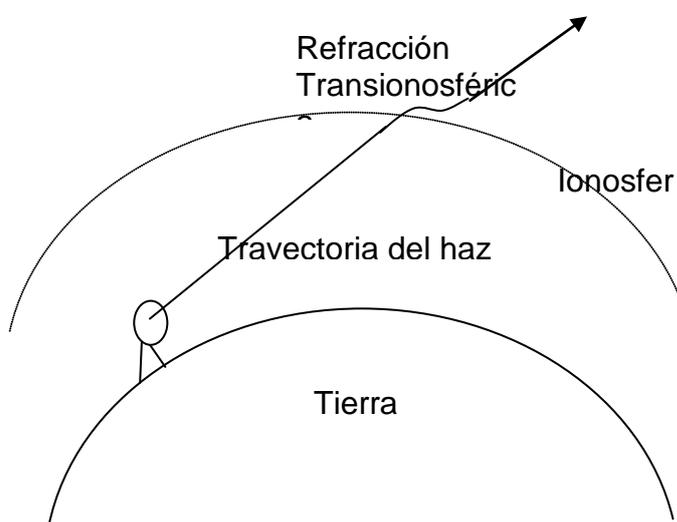


Figura 1-9 Propagación Transionosférica

Se aprecia en la figura 1-9 que el haz es doblado hacia abajo al pasar a través de la capa ionosférica y luego cuando el haz pasa a la zona de menor densidad de ionización es doblada hacia arriba y eventualmente adquiere la dirección original de propagación. Un efecto aun mas importante de la propagación transionosférica bajo unos cientos de megaciclos es la rotación

de la polarización de la onda producida por la acción tanto de las partículas cargadas (iones) como del campo magnético de la tierra. Este es un problema que posee varias soluciones, una es el uso de polarización circular, o una antena cuya polarización puede ser variada de manera que se ajuste a la mayor recepción de señal. Otro remedio es trabajar en frecuencias superiores a 1 GHz, es por eso que las comunicaciones satelitales se desarrollan en bandas de frecuencia superiores a ese límite.

1.3. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, GUÍAS DE ONDA Y MODOS DE TRANSMISIÓN

1.3.1. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Cuando la energía electromagnética fluye a lo largo de una línea de transmisión, la distribución del voltaje y la corriente a lo largo de la línea depende de la naturaleza de la carga conectada. Si la impedancia de la carga se acopla correctamente a la impedancia característica de la línea de transmisión, entonces, toda la energía que viaja a través de la línea será absorbida por la carga.

Bajo condiciones de desigualdad (desacoplamiento), la carga absorberá una cantidad de energía determinada por la ley de Ohm, el resto se reflejará hacia la fuente o generador. La energía incidente y reflejada se combinan para formar ondas estacionarias a lo largo de la línea de transmisión y que indican el grado de desacoplamiento.

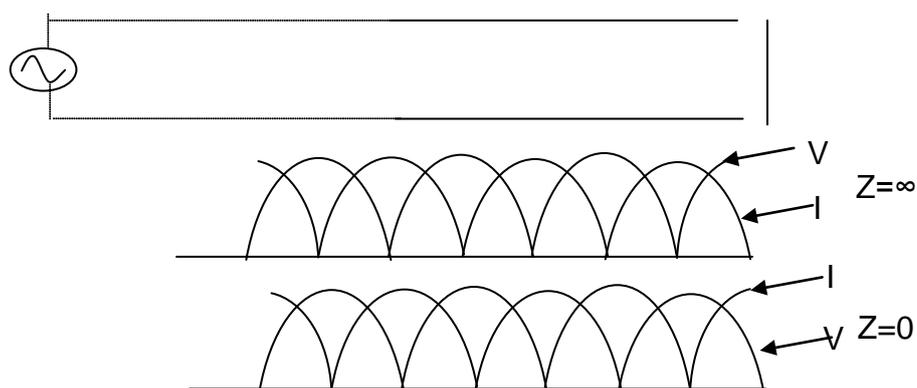


Figura 1-10 Distribución de I y V en una Línea de Transmisión

La figura 1-10 muestra dos casos para la distribución de voltaje y corriente cerca de la carga si esta es $Z = \infty$ o $Z = 0$. En cualquiera de los casos no existirá potencia absorbida por la carga pues el voltaje o la corriente son cero, es decir, existirá una reflexión total de la energía. El patrón de onda estacionaria

depende de la longitud de onda de la señal transmitida y se repite cada $\lambda/2$.

La propiedad de transformación de impedancia (V/I) de las líneas de transmisión en cada tramo de $\lambda/4$, permite que esas líneas de transmisión soporten stubs de $\lambda/4$, que son transformadores de impedancia, sin afectar el flujo de la potencia de la señal de manera alguna. Si la frecuencia es reducida, los stubs tienen longitudes menores que $\lambda/4$ y se comportaran como una reactancia inductiva para incrementar la señal frente a pérdidas en baja frecuencia. De la misma manera en altas frecuencias un stub de dimensiones mayores a $\lambda/4$ darán reactancia capacitiva. Si una infinidad de stubs de $\lambda/4$ están conectados en paralelo a lo largo de todas las líneas una caja de forma rectangular se desarrolla y continuará acarreado energía como se muestra en la figura 1-11. Esta estructura es descrita como una *guía de onda*.

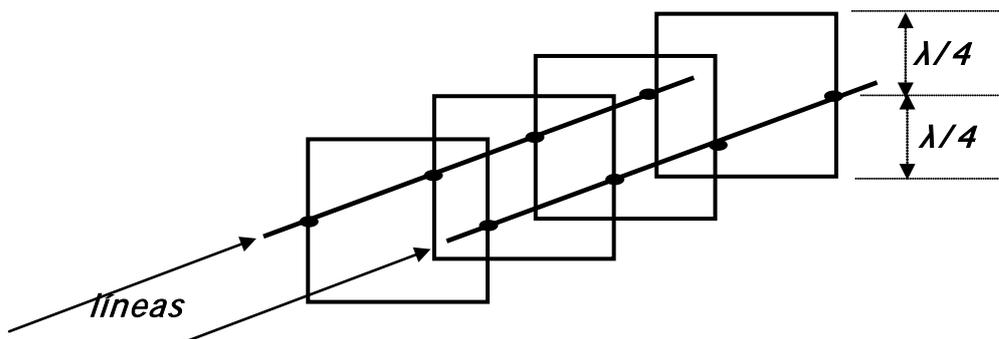


Figura 1-11 Formación de una guía de onda a partir de stubs en paralelo a una línea de transmisión

Las líneas de transmisión convencionales como la de dos hilos y la línea coaxial son útiles para la transmisión de potencia desde un generador hacia una carga que puede estar muy lejos. La utilidad de dichas líneas y su teoría relacionada, esta restringidas por las dimensiones de su sección transversal que deben ser eléctricamente pequeñas. Si la frecuencia de transmisión aumenta, se debe reducir el área de la sección de las líneas para que sea eléctricamente pequeña. Cuando sus capacidades de manejo de potencia se vuelven inadecuadas, se debe diseñar nuevas estructuras para guiar ondas electromagnéticas.

1.3.2. GUÍAS DE ONDAS Y MODOS DE TRANSMISION

En frecuencias superiores a 1GHz , las pérdidas en cables coaxiales y líneas de transmisión llegan a ser inaceptables por lo que las guías de onda son utilizadas. A pesar que las ultimas son más grandes, mecánicamente rígidas y más caras que los cables, estas desventajas son superadas y compensadas por sus pérdidas muy bajas en frecuencias de microondas. La energía electromagnética se propaga a través de la guía de onda por reflexiones en las paredes laterales.

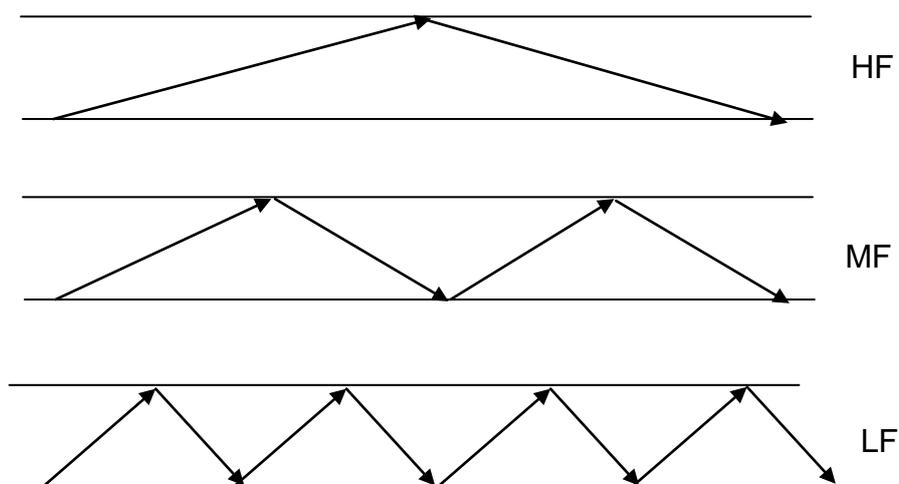


Figura 1-12 La guía de onda como filtro pasa-altos

La figura 1-12 muestra el comportamiento de una guía de onda en función de la frecuencia, para bajas frecuencias, las reflexiones son mas que para altas frecuencias por lo que se

comporta como un filtro pasa altos porque en bajas frecuencias existe una frecuencia de corte o λ_c crítica, donde la energía es simplemente reflejada hacia atrás y más adelante la propagación cesa.

Para el modo dominante o fundamental de propagación, la longitud de onda de corte es proporcional a la dimensión transversal 'a' donde $\lambda_c=2*a$, la dimensión estrecha 'b' no es muy crítica y es igual a $a/2$, figura 1-13.

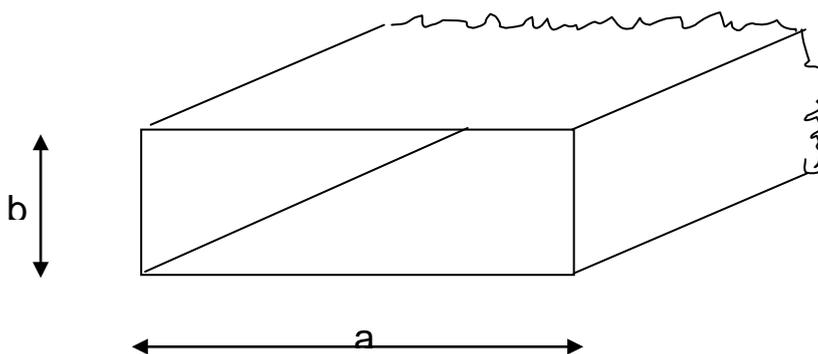


Figura 1-13 Guía de onda rectangular

La velocidad de propagación con guías de ondas es similar a la de los cables coaxiales. En el ultimo caso, la velocidad de onda es disminuida por carga y descarga de la capacitancia propia del cable debido a una corriente fluyendo contra su autoinductancia. En la guía de onda la energía viaja a lo largo

de un camino reflectivo. Para señales sinusoidales el modo dominante de propagación determina la mas larga longitud de onda crítica , es decir la frecuencia de corte inferior. A continuación en la figura 1-14 se muestra la distribución de las líneas de fuerza de los campos E y H.

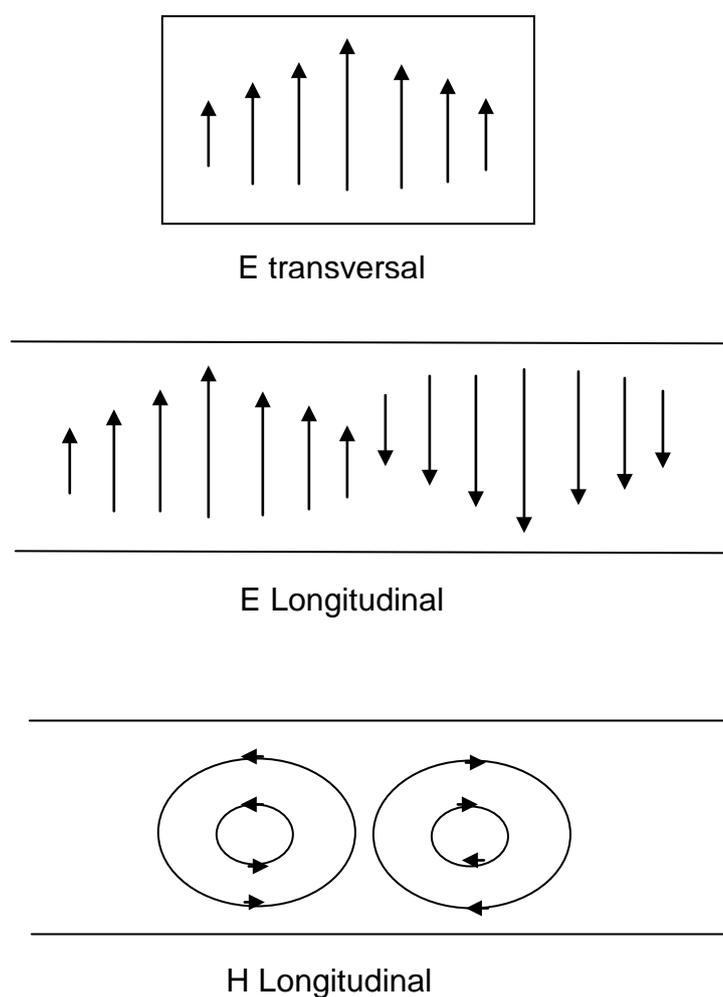


Figura 1-14 E y H para el modo dominante de propagación

Las líneas de campo E terminan en las paredes laterales y las líneas H forman lazos cerrados, ambos propagándose a través de la guía de onda. En las figuras de E longitudinal y transversal la amplitud de las líneas representa la variación sinusoidal de la intensidad de campo. Modos de orden mayor pueden propagar ondas como lo indica la figura 1-15.

De hecho la largura de la guía de onda en términos de longitud de onda determina el número de modos que pueden propagar. La presencia de muchos modos, todos viajando a diferentes velocidades y siguiendo diferentes patrones reflectivos es claramente indeseable. Por consiguiente es usual escoger las dimensiones de la guía de onda suficientemente largas para soportar únicamente el modo dominante. Esto restringe el uso de una guía de onda rectangular dada a un rango de frecuencias relativamente pequeño. Similares modos de propagación ocurren en las guías de onda circulares, las que tienden a tener un mayor ancho de banda, pero incluyen problemas mecánicos y eléctricos si son largas y existen tramos doblados.

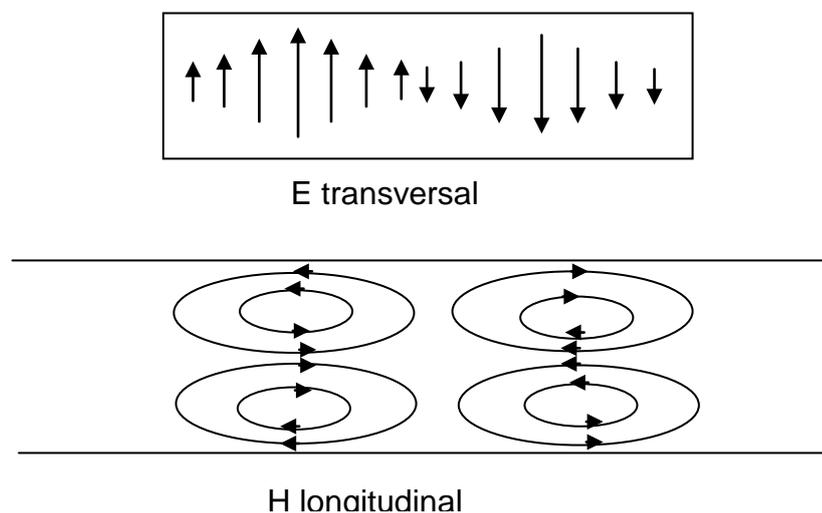


Figura 1-15 Modos de propagación de segundo orden

1.4. ANTENAS

1.4.1. BANDAS Y FRECUENCIAS

Las ondas electromagnéticas se caracterizan por su frecuencia y longitud de onda. El conjunto de todas las frecuencias se denomina espectro, figura 1-16.

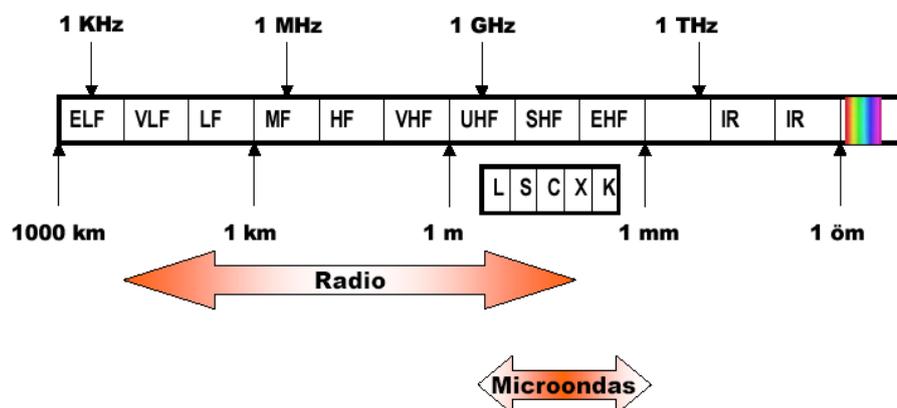


Figura 1-16 Espectro Radioeléctrico

Las ondas se clasifican por bandas. Las denominaciones de las bandas de frecuencia se pueden realizar por décadas, como por ejemplo MF, HF, VHF, UHF.

Banda	Denominación	Frec. mínima	Frec. máxima	λ mínima	λ máxima
ELF	Extremadamente Baja Frecuencia	-	3KHz	-	100Km
VLF	Muy Baja Frecuencia	3KHz	30KHz	100Km	10Km
LF	Baja Frecuencia	30KHz	300KHz	10Km	1Km
MF	Media Frecuencia	300KHz	3MHz	1Km	100m
HF	Alta Frecuencia	3MHz	30MHz	100m	10m
VHF	Muy Alta Frecuencia	30MHz	300MHz	10m	1m
UHF	Ultra Alta Frecuencia	300MHz	3GHz	1m	10cm
SHF	Súper Alta Frecuencia	3GHz	30GHz	10cm	1cm
EHF	Extremadamente Alta Frecuencia	30GHz	300GHz	1cm	1mm

Tabla 1.1 Bandas y longitudes de onda

En Televisión y FM se utilizan otras denominaciones como Banda I, Banda II, Banda III, IV y V.

Banda	Frecuencia mínima	Frecuencia máxima	Canales
I	47 MHz	68 MHz	2,3,4 VHF
II	88 MHz	108 MHz	FM
III	174 MHz	230 MHz	5 al 12 VHF
IV	470 MHz	606 MHz	21 al 37 UHF
V	606 MHz	862 MHz	38 al 69 UHF

Tabla 1-2 Bandas de televisión y FM comercial

A frecuencias de microondas se utilizan otras denominaciones, como bandas L, C, S, X, que provienen de los primeros tiempos del radar.

Banda	Frecuencia Mínima	Frecuencia Máxima	λ mínima	λ máxima
L	1GHz	2GHz	30cm	15cm
S	2GHz	4GHz	15cm	7.5cm
C	4GHz	8GHz	7.5cm	3.75cm
X	8GHz	12.4GHz	3.75cm	2.42cm
Ku	12.4Ghz	18GHz	2.42cm	1.66cm
K	18GHz	26.5GHz	1.66cm	1.11cm
Ka	26.5GHz	40GHz	11.1mm	7.5mm
Mm	40GHz	300GHz	7.5mm	1mm

Tabla 1-3 Bandas para comunicaciones satelitales y radar

A frecuencias superiores nos encontramos con la parte del espectro electromagnético correspondientes al infrarrojo, visible y ultravioleta. A frecuencias superiores tenemos los rayos X y los rayos Gamma, de energía mayor y longitudes de onda más reducidas.

Banda	Denominación	Frecuencia mínima	Frecuencia máxima	λ □mínima	λ máxima
	Región Sub-milimétrica	300GHz	800GHz	1mm	0.4mm
IR	Infrarrojo	800GHz	400THz	0.4mm	0.8 μ m
V	Visible	400THz	750THz	0.8 μ m	0.4 μ m
UV	Ultravioleta	750THz	10000THz	400nm	12nm

Tabla 1-4 Bandas para Infrarrojos, luz visible y ultravioleta

1.4.2. DEFINICIÓN DE ANTENA Y PARÁMETROS FUNDAMENTALES

La antena es un dispositivo o circuito eléctrico que irradia campo electromagnético, dichos campos son portadores de información y es un dispositivo de transición entre una onda guiada por un alimentador y una onda en el espacio libre. Los sistemas de Comunicaciones utilizan antenas para realizar enlaces punto a punto, difundir señales de televisión o radio, o bien transmitir o recibir señales en equipos portátiles.

1.4.2.1. DENSIDAD DE POTENCIA RADIADA

La densidad de potencia radiada se define como la potencia por unidad de superficie en una determinada dirección. Las unidades son vatios por metro cuadrado. Se puede calcular a partir de los valores eficaces de los campos como:

$$\vec{P}(\theta, \phi) = \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*) \quad 1-15$$

La relación entre el módulo del campo eléctrico y el módulo del campo magnético es la impedancia característica del medio

$$\frac{|\vec{E}|}{|\vec{H}|} = \eta \quad 1-16$$

Por lo tanto, la densidad de potencia radiada también se puede calcular a partir de las dos componentes del campo eléctrico, Usando 1-15 y 1-16 tenemos :

$$\vec{P}(\theta, \phi) = \frac{E_{\theta}^2 + E_{\phi}^2}{\eta} \quad 1-17$$

La potencia total radiada se puede obtener como la integral de la densidad de potencia en una esfera que encierre a la antena.

$$W_r = \iint \vec{P}(\theta, \phi) \cdot \vec{ds} \quad 1-18$$

La intensidad de radiación es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección.

Las unidades son vatios por estereorradián. Dicho parámetro es independiente de la distancia a la que se encuentre la antena emisora.

La relación entre la intensidad de radiación y la densidad de potencia radiada es:

$$K(\theta, \phi) = P(\theta, \phi) r^2 \quad 1-19$$

La potencia total radiada se puede calcular integrando la intensidad de radiación en todas las direcciones del espacio.

$$W_r = \iint K(\theta, \phi) d\Omega = \iint K(\theta, \phi) \sin(\theta) d\theta d\phi \quad 1-20$$

1.4.2.2 DIRECTIVIDAD.

La Directividad de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección,

a una distancia, y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica, a igualdad de potencia total radiada.

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{W_t}{4\pi r^2}} \quad 1-21$$

Si no se especifica la dirección angular, se sobreentiende que la Directividad se refiere a la dirección de máxima radiación

$$D = \frac{P_{\max}}{\frac{W_t}{4\pi r^2}} \quad 1-22$$

La directividad se puede obtener en general a partir del diagrama de radiación de la antena, reemplazando términos se obtiene:

$$D = \frac{4\pi}{\iint \frac{P(\theta, \phi)}{P_{\max}} \sin(\theta) d\theta d\phi} = \frac{4\pi}{\Omega_e} \quad 1-23$$

Ω_e se define como el ángulo sólido equivalente. Para antenas directivas, con un solo lóbulo principal y lóbulos secundarios de nivel despreciable, se puede obtener

una directividad aproximada considerando que se produce radiación uniforme en el ángulo sólido definido a partir de los anchos de haz a -3dB en los dos planos principales del diagrama de radiación.

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_e} = \frac{4\pi}{\theta_1\theta_2} \quad 1-24$$

1.4.2.3. GANANCIA.

La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena.

$$G(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{W_e}{4\pi r^2}} \quad 1-25$$

Si no se especifica la dirección angular, se sobreentiende que la Ganancia se refiere a la dirección de máxima radiación.

$$G = \frac{P_{\max}}{\frac{W_e}{4\pi r^2}} \quad 1-26$$

En la definición de Directividad se habla de potencia radiada por la antena, mientras que en la definición de ganancia se habla de potencia entregada a la antena. La diferencia entre ambas potencias es la potencia disipada por la antena, debida a pérdidas óhmicas. La eficiencia se puede definir como la relación entre la potencia radiada por una antena y la potencia entregada a la misma. La eficiencia es un número comprendido entre 0 y 1. La relación entre la ganancia y la directividad es la eficiencia.

$$G(\theta, \phi) = D(\theta, \phi)\eta \quad 1-27$$

Si una antena no tiene pérdidas óhmicas, la Directividad y la Ganancia son iguales.

1.4.2.4. IMPEDANCIA

La impedancia de una antena se define como la relación entre la tensión y la corriente en sus terminales de entrada. Dicha impedancia es en general compleja. La parte real se denomina resistencia de antena y la parte imaginaria, reactancia de antena.

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = R_a + jX_a \quad 1-28$$

Se define la resistencia de radiación como la relación entre la potencia total radiada por una antena y el valor eficaz de la corriente en sus terminales de entrada, elevada al cuadrado. Se define la resistencia óhmica de una antena como la relación entre la potencia disipada por efecto de pérdidas resistivas y la corriente en sus terminales al cuadrado. Por lo tanto la resistencia de antena la podemos considerar como la suma de la resistencia de radiación y la resistencia óhmica.

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = R_a + jX_a = (R_r + R_\Omega) + jX_a \quad 1-29$$

La eficiencia de una antena se puede obtener a partir de las resistencias de radiación y óhmicas, teniendo en cuenta que es la relación entre la potencia total radiada y la potencia entregada a la antena.

$$\eta = \frac{W_t}{W_e} = \frac{W_t}{W_t + W_\Omega} = \frac{I^2 R_r}{I^2 (R_r + R_\Omega)} = \frac{R_r}{R_r + R_\Omega} \quad 1-30$$

1.4.2.5. ADAPTACIÓN.

Las antenas receptoras tienen un circuito equivalente de Thevenin, con una impedancia de antena y un generador de tensión. La transferencia de potencia entre la antena y la carga es máxima cuando ambas impedancias son complejas conjugadas.

En general, si no hay adaptación, la potencia recibida por una carga $R_L + jX_L$ conectada a una antena de impedancia $R_a + jX_a$ se puede calcular como:

$$W_r = \frac{|V_a|^2 R_L}{(R_a + R_L)^2 + (X_a + X_L)^2} \quad 1-31$$

Se define el coeficiente de adaptación como la relación entre la potencia recibida y la potencia que se recibiría en el caso de máxima transferencia de potencia. Toma valores entre 0 y 1.

$$C_a = \frac{W_r}{W_r^m} = \frac{4R_a R_L}{(R_a + R_L)^2 + (X_a + X_L)^2} \quad 1-32$$

1.4.2.6.ÁREA Y LONGITUD EFECTIVAS.

El área efectiva se define como la relación entre la potencia recibida y la densidad de potencia incidente en una antena. La antena debe estar adaptada a la carga, de forma que la potencia transferida sea la máxima. La onda recibida debe estar adaptada en polarización a la antena.

$$A_{ef} = \frac{W_r}{P_i} \quad 1-33$$

La longitud efectiva de una antena linealmente polarizada se define como la relación entre la tensión inducida en una antena en circuito abierto y el campo incidente en la misma.

$$l_{ef} = \frac{V_a}{E_i} \quad 1-34$$

1.4.3. PRINCIPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO

El propósito básico de una antena es el de transmitir y recibir energía en forma de ondas electromagnéticas, mientras mayor es la frecuencia, se incrementa la capacidad de irradiar

energía. Los factores necesarios para irradiar energía son: el rango de frecuencia de la corriente, y las dimensiones físicas de la antena. Ambos factores están relacionados por lo que una antena emite energía de manera eficiente cuando esta es resonante. La ecuación 1-28 define la impedancia de una antena, esta tiene una componente real y una componente reactiva que contiene a su vez una componente capacitiva y otra componente inductiva, como se explicó en la sección de líneas de transmisión debe existir acoplamiento de impedancias entre la línea y la carga que en este caso es la antena. Para que la antena se acople, las reactancias inductiva y capacitiva deben ser iguales, por lo que se anularán y solo quedará la componente resistiva pura, esto es la resonancia, permitir que toda la energía del generador sea irradiada. Dado que las componentes reactivas de la impedancia de antena varían de acuerdo a la frecuencia de la corriente aplicada al sistema, la antena posee un ancho de banda en cual los siguientes tres parámetros muestran valores aceptables:

1. Diagrama de Directividad
2. Coeficiente de eficiencia de antena
3. Acoplamiento entre alimentador y la antena

Dado que el tamaño de una antena depende de la longitud de onda en el caso del dipolo, las componentes de la impedancia de antena son afectadas por el tamaño del sistema que debe ser en proporción a la longitud de onda es decir la frecuencia. En el caso del dipolo, la longitud en la que se logra resonancia es cuando l es igual a $\lambda/4$ como lo muestra la figura 1-17.

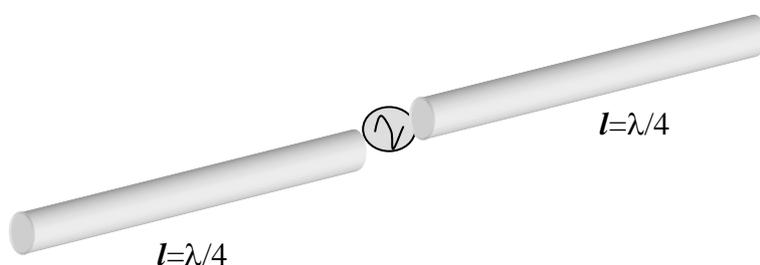


Figura 1-17 Dipolo de Hertz, y longitudes para resonancia

1.4.4. TIPOS DE ANTENAS

En cuanto a la variedad de antenas la clasificación sería demasiado amplia, dipolos simples, dipolos doblados, antenas Marconi, antenas Yagui, superficies reflectoras, pero, debido a ciertas características comunes en el ámbito de las comunicaciones satelitales existen tres tipos de antenas: las de haz modelado, las de único haz y las antenas multihaz.

En el primer caso, son aquellas antenas cuyos haces de radiación son formados de acuerdo a un modelo deseado. La ventaja de estas antenas no es sólo el incremento de ganancia sino la mejora del aislamiento de haz a haz, el cual es un parámetro clave para el incremento de la capacidad de comunicación debido a la reutilización de frecuencias. Las antenas de un único haz son utilizadas en los satélites de comunicaciones como antenas que proporcionan un haz de cobertura reducida o bien como antenas que proporcionan un haz de cobertura global. Dentro de las antenas multihaz podemos distinguir entre aquellas capaces de generar varios haces por unidad de tiempo y las que generando un único haz en cada instante son capaces de adoptar en el tiempo su dirección de apuntamiento.

CAPITULO 2

2. ANTENAS PARABOLICAS

2.1 SUPERFICIES REFLECTORAS

En general una antena a base de reflectores puede consistir en una o más superficies reflectoras de diferentes formas: paraboloides, hiperboloides, esferoides, elipsoides o una forma general. Una onda que se propaga en el espacio tiene un frente de onda esférico. Si la distancia en longitudes de onda, entre el punto de observación y el punto de emisión es muy grande, el frente puede considerarse como un frente de onda plano. Esto significa que, si se toma una superficie normal a la dirección de propagación (frente de onda), las ondas que arriban a esa superficie lo hacen con igual fase. Es posible construir

un conjunto de superficies ordenadas de tal forma, que una onda plana al incidir en ellas, se refleja pasando por un punto f .

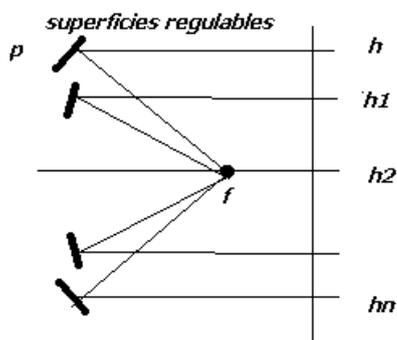


Figura 2-1 Formación de un frente de onda plano.

Si en el punto f se coloca una fuente receptora, es de esperar que se reciba en ella toda la energía del frente de onda. Como se puede apreciar en la figura 2-1, los n caminos, tienen longitudes distintas, ello provoca que las ondas que inciden en f , lo hagan con fases diferentes, y la suma de los campos que arriban a dicho punto, puede llegar a ser destructiva. Para que los campos que arriban al punto f se sumen con la misma fase, hay que procurar que los caminos tengan iguales longitudes. Es posible modificar la ubicación y el ángulo de cada superficie reflectora de tal forma, que los diferentes caminos sean iguales.

Así: $f_p h = f_{p1} h_1 = f_{p2} h_2 = \dots = f_{pn} h_n$. Además, esas superficies deben ser orientadas de manera tal, que cada una, presente un ángulo de incidencia γ_i igual al ángulo de reflexión γ_r como en la figura 2-2:

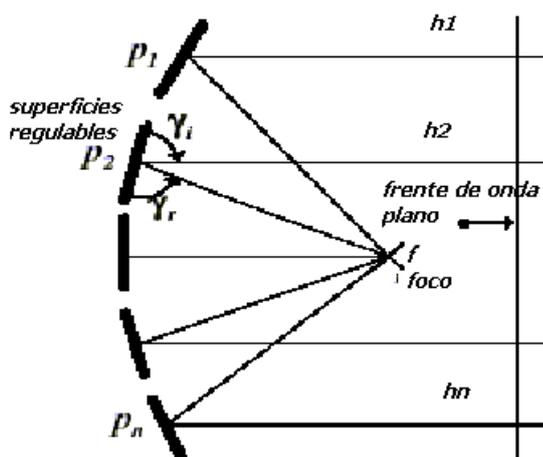


Figura 2-2 Formación de una superficie reflectora.

Esta representación da lugar a visualizar como converge en f la energía de la onda plana que proviene del frente de onda. Las superficies aisladas regulables permiten transportar, por reflexión la energía del frente de onda al punto f . La parábola como una figura geométrica en el plano o el paraboloide como figura espacial, tienen naturalmente las propiedades enunciadas para las n superficies regulables aisladas.

El paraboloide tiene la propiedad de que los caminos que parten del foco f y se reflejan a una superficie S llegan a la misma con recorridos de igual longitud, como se muestra en la figura 2-3:

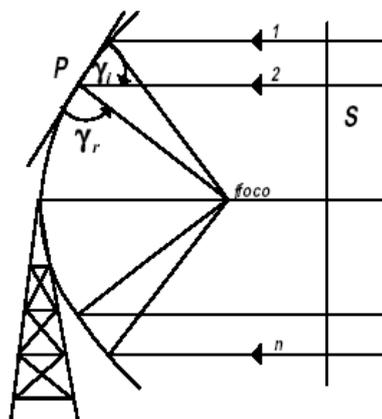


Figura 2-3 Rayos sobre un Reflector Parabólico.

Por lo dicho, una onda reflejada según el camino **1**, tarda el mismo tiempo o lo hace con igual fase, que las ondas que recorren los caminos **2,...,n**. Otra propiedad de la parábola es que, la tangente en un punto **P** tiene una orientación tal, que el ángulo de incidencia γ_i , es igual al ángulo de reflexión γ_r . Las propiedades enunciadas son útiles para el diseño y construcción de Antenas con Reflectores Parabólicos.

2.2 APERTURAS QUASI-ÓPTICAS

Existen docenas de configuraciones quasi-ópticas utilizadas para la transmisión y recepción de microondas, pero es necesario explicar los diversos sistemas y otros fenómenos relacionados.

2.2.1 ABERRACIÓN ESFÉRICA.

En Óptica, la aberración esférica es un fenómeno en el que los rayos que inciden en los extremos de un espejo cóncavo se reflejan hacia puntos distintos en el eje principal del sistema por lo que la energía es dispersada y no puede ser eficientemente recolectada o transmitida por un alimentador como se muestra en la figura 2-4.

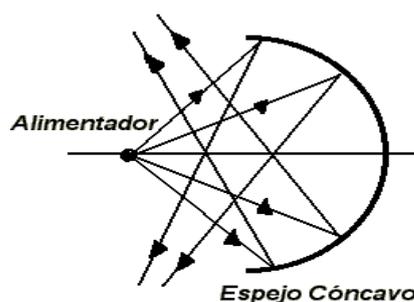


Figura 2-4 Aberración Esférica.

2.2.2 SISTEMA PARABÓLICO

En la figura 2-5, está el arreglo mas básico en el que la superficie reflectora es un paraboloide de revolución, los rayos impactan la superficie y son reflejados hacia el foco, en el caso de transmisión, el foco genera rayos que impactan en la superficie y se reflejan formando ondas planas a la salida de la apertura. Este arreglo es libre de aberración esférica, esta

disponible en pequeños y grandes diámetros, tiene bajas pérdidas por reflexión, y el alimentador debe estar colocado en el punto focal.

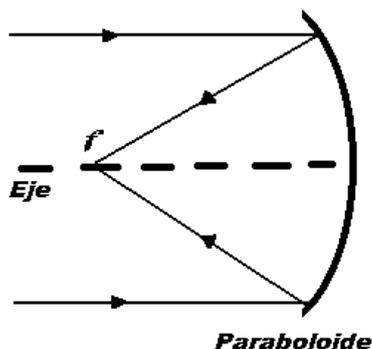


Figura 2-5 Sistema Óptico Parabólico.

2.2.3. SISTEMA CASSEGRAIN.

Otra configuración muy utilizada posee dos superficies reflectoras, una es un paraboloide y la otra es una sección de un hiperboloide de revolución, este conjunto se denomina Cassegrain y es mostrado en la figura 2-6. El propósito de la segunda superficie reflectora es incrementar la distancia focal lo que permite la colocación del detector detrás del sistema óptico, a este incremento se denomina magnificación. Adicionalmente este sistema no produce aberración esférica.

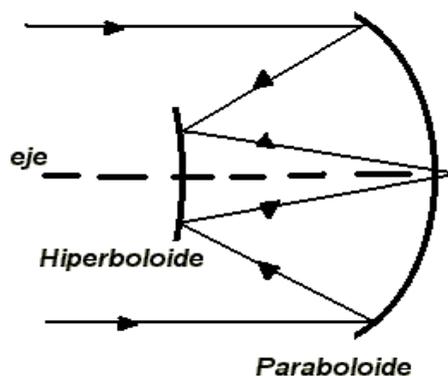


Figura 2-6 Sistema Óptico Cassegrain.

2.2.4. SISTEMA GREGORIANO

Los sistemas ópticos Gregorianos son menos comunes que los Cassegrain, y se diferencian de aquellos en que están compuestos por un paraboloide de revolución que es el reflector principal y una superficie elipsoidal. El tamaño de estos sistemas es mayor que el de los Cassegrain pero tienen en común la ubicación de detectores detrás del sistema óptico y su condición libre de aberración esférica. Un esquema simple es mostrado en la figura 2-7.

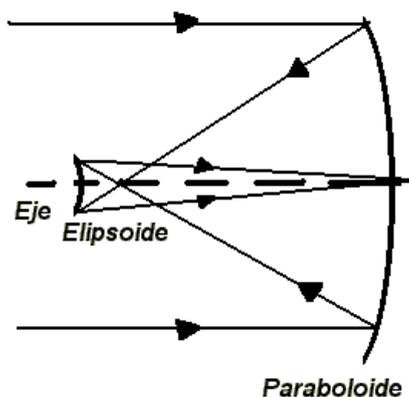


Figura 2-7 Sistema Óptico Gregoriano.

2.2.5. SISTEMA NEWTONIANO.

Tanto los sistemas Cassegrain, Gregoriano y Newtoniano, corresponden a modelos desarrollados en analogía a los telescopios astronómicos. En el caso del sistema Newtoniano, esta compuesto por un reflector principal que es un paraboloide y un prisma ubicado en el foco del paraboloide, por lo que, la nueva superficie reflectora adicional es plana. Al utilizarse un prisma, se produce reflexión y refracción de la onda electromagnética dentro de dicho prisma, esto se denomina obstrucción central; además el prisma o el plano reflector deben estar ubicados en el foco del paraboloide como se muestra en la figura 2-8.

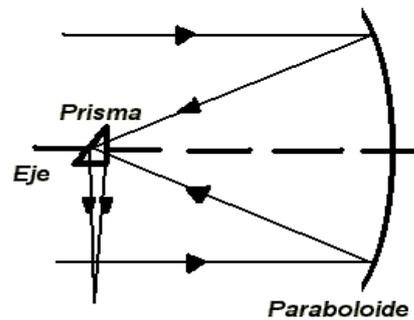


Figura 2-8 Sistema Óptico Newtoniano.

2.2.6. SISTEMA OFFSET

En Óptica existe otro sistema de construcción simple denominado Offset , en el que, el eje principal que coincide con el del paraboloide, esta inclinado un ángulo con respecto a los rayos de la onda plana incidente o reflejada desde el paraboloide. Sufre aberración, pero en contraparte no tiene obstrucción central provocada por lentes ubicados en el punto focal. Un sistema Offset es mostrado en la figura 2-9 .

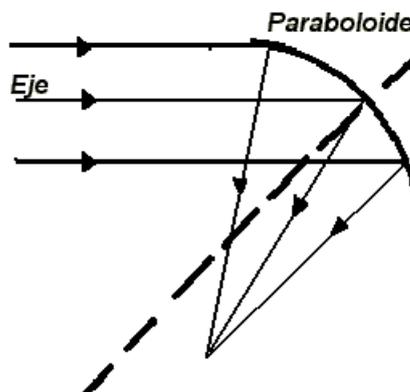


Figura 2-9 Sistema Óptico Offset

2.2.7. LENTES DE FRESNEL

Las lentes especiales de Fresnel trabajan por refracción, como lo muestra la figura 2-10, son libres de aberración esférica, su peso es inherentemente mas ligero y su espacio axial es mas pequeño, además; su espesor disminuye la absorción infrarroja (caso óptico) y son difíciles de producir cuando existe materiales que emiten radiación infrarroja.

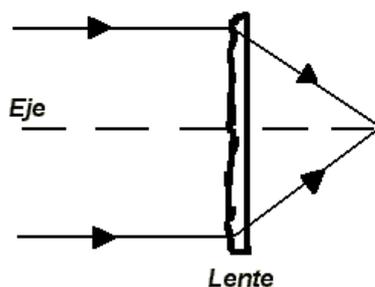


Figura 2-10 Lentes de Fresnel.

2.2.8. ESPEJO CÓNCAVO

Se incluye dentro de esta lista de sistemas ópticos, o aperturas quasi-ópticas un sistema cóncavo compuesto de un refractor esférico y en su parte posterior de un reflector esférico, es en si un arreglo reflectivo-refractivo que es libre de aberración esférica, adecuado para pequeñas aperturas y pequeños ángulos, figura 2-11.

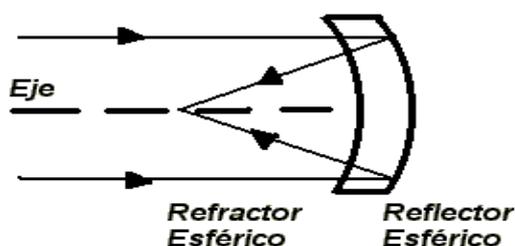


Figura 2-11 Espejo Cóncavo.

2.3. REFLECTORES PARABÓLICOS

Los reflectores en si no son antenas, son parte de un sistema que requiere de una antena primaria que se complementa con el reflector. Cuando ese conjunto utiliza un reflector parabólico se conoce como Antena con Reflector Parabólico. Existen muchos tipos de reflectores parabólicos, los mas usados son: Cilindros parabólicos, paraboloides de revolución truncados y paraboloides de revolución. La

construcción de estos dispositivos tiene como objetivo lograr altas ganancias, son muy usadas para enlaces de microondas terrestres, satelitales y radar.

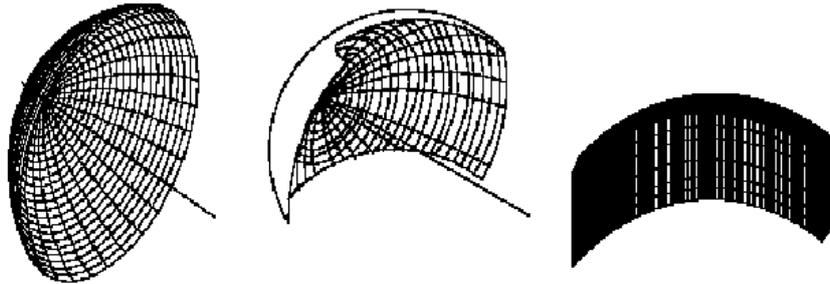


Figura 2-12 Reflectores Parabólicos.

2.3.1. PARÁBOLA.

Dada una parábola de boca D y punto focal f se tienen las siguientes ecuaciones:

$$Z^2 = 4 * f * x \quad (2-1)$$

$$Z^2 = \frac{f}{D} * 4 * D * x \quad (2-2)$$

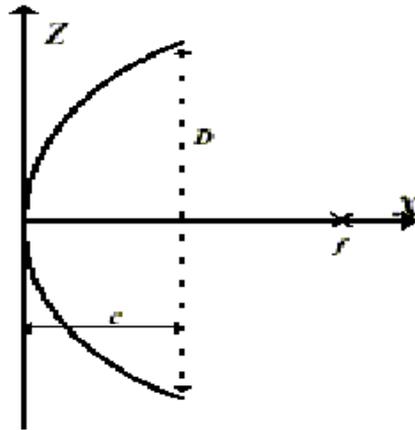


Figura 2-13 Parábola.

Como:

$$x = \frac{Z^2}{4 * f} \quad (2-3)$$

entonces en la boca de la parábola:

$$Z = \frac{D}{2} \quad (2-4)$$

por lo que

$$c = \frac{D}{16 * \left(\frac{f}{D}\right)} \quad (2-5)$$

donde:

D es la boca o diámetro de la parábola
 f es la distancia al punto focal
 c la profundidad de la parábola en el centro.

2.4. DIAGRAMA DE RADIACIÓN Y GANANCIA DE UN REFLECTOR PARABÓLICO

2.4.1. DIAGRAMA DE RADIACIÓN

Todas las antenas tienen un diagrama de radiación que le es particular, es la forma y dirección del ángulo sólido con el que se manifiesta la radiación en el espacio. En la figura 2-14 se puede apreciar que el ángulo sólido de una antena con reflector parabólico es muy pequeño, lo que significa que toda la potencia de la fuente se concentra en una dirección del espacio, así la magnitud del Vector de Poynting en dicha dirección es mayor a la de una fuente isotrópica puntual.

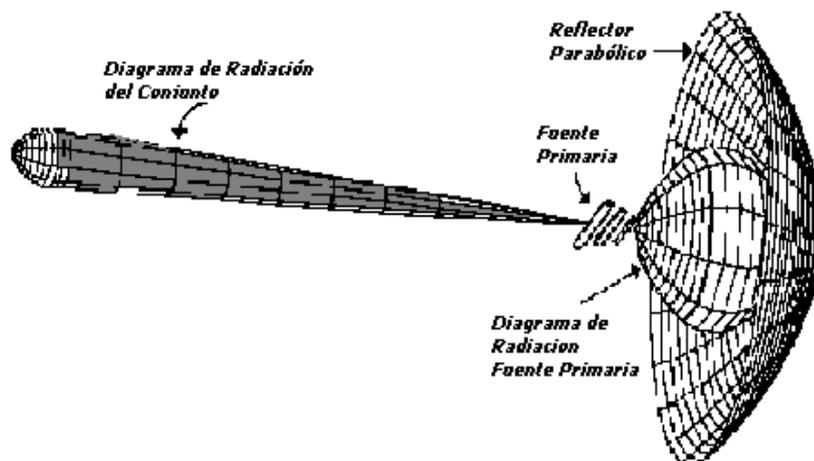


Figura 2-14 Diagrama de Radiación de un Sistema con reflector Parabólico.

La relación entre el ángulo de una fuente isotrópica y la de un reflector parabólico permite calcular la ganancia de dicho sistema.

2.4.2. EFICIENCIA DE UNA ANTENA CON REFLECTOR PARABÓLICO.

En una antena con reflector parabólico, el área efectiva o de captura, depende de un factor denominado eficiencia η que es un porcentaje que se multiplica con el área física del reflector. Esta eficiencia global, que debe ser usada para el cálculo del nivel de portadora recibida, es en sí el producto de varias eficiencias como se muestra en la ecuación 2-6.

$$\eta = \eta_a * \eta_b * \eta_s * \eta_p * \eta_e * \eta_L \quad (2-6)$$

donde:

η_a = Eficiencia de apertura, resultado de iluminación no uniforme, errores de fase y otros que resultan en un incremento de los lóbulos laterales.

η_b = Eficiencia de bloqueo, que resulta del bloqueo del reflector principal por los subreflectores o alimentadores.

η_s = Eficiencia de desbordamiento, ocasionada por las perdidas de energía en los subreflectores y reflector principal al no interceptar toda la energía que llega hacia ellos.

η_p = Eficiencia por polarización, debida a las perdidas de energía al no recibir la polarización ortogonal deseada.

η_e = Eficiencia de superficie, por las perdidas de ganancia ocasionadas por la diferencia entre la superficie teórica y la real, inclusive las irregularidades del reflector.

η_L = Eficiencia ohmica y de desacoplamiento, debida a las perdidas de energía reflejada en los terminales de entrada ($VSWR > 1$), las perdidas por disipación ohmica en las superficies conductoras o lentes dieléctricos.

La eficiencia de apertura es un concepto importante pero sutil a la vez. Describe el grado con el cual una abertura iluminada alcanza a la directividad, y por consiguiente a la ganancia.

2.4.3. GANANCIA DE UNA ANTENA CON REFLECTOR

PARABÓLICO

La ganancia de una antena con reflector parabólico referida la fuente isotrópica y adecuadamente iluminado es:

$$G = \frac{4 * \pi}{\lambda^2} * A_{em} \quad (2-7)$$

En el caso de un paraboloide de boca circular tenemos que:

$$A_{em} = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (2-8)$$

Reemplazando el valor de A_{em} en la ecuación de ganancia 2-7 se obtiene:

$$G = 9.87 * \left(\frac{D}{\lambda} \right)^2 \quad (2-9)$$

Donde :

D es el diámetro del paraboloide

λ es la longitud de onda

A_{em} es el área efectiva de captación máxima (electromagnética) o de radiación del sistema parabólico. Si el sistema no tiene pérdidas, representa el área de la boca del paraboloide.

El valor de ganancia que se obtiene con la ecuación anterior es un valor ideal, que representa a un sistema de construcción perfecta y adecuadamente iluminado. Debido a que la ganancia de un sistema parabólico depende del rendimiento, su ecuación debe incluir ese parámetro es así que:

$$G = \eta * 9.87 * \left(\frac{D}{\lambda} \right)^2 \quad (2-10)$$

Los valores de η se encuentran entre 0.5 y 0.7, por lo que no se puede lograr un sistema parabólico con una eficiencia mayor al 70%. A continuación se muestra un gráfico que relaciona la ganancia del sistema, frecuencia, diámetro del paraboloide y ángulo de media potencia del diagrama de radiación.

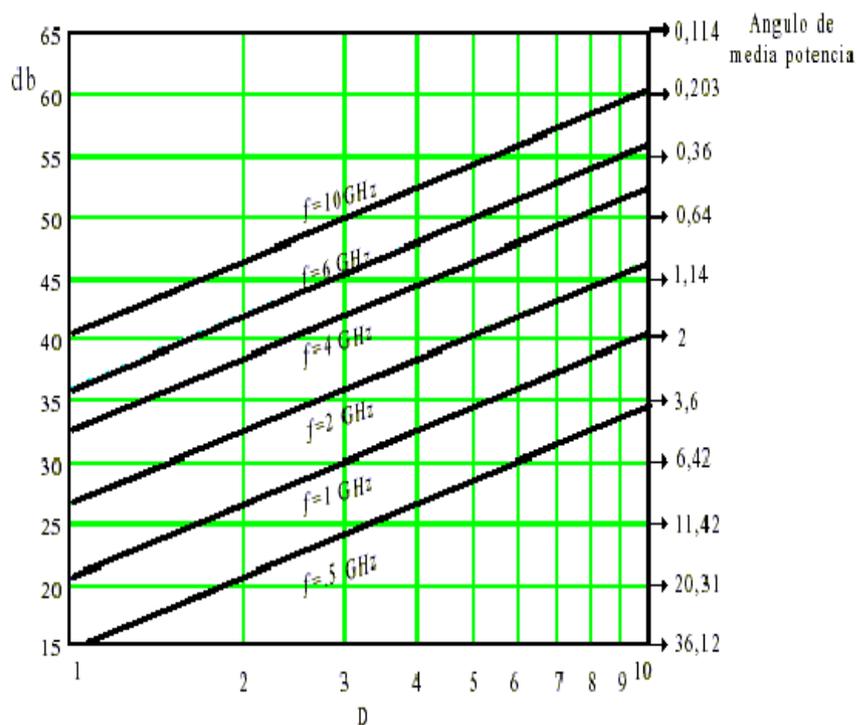


Figura 2-15 Gráfica que relaciona Ganancia, Ángulo de media potencia y el Diámetro del Reflector Parabólico.

La ganancia de un sistema parabólico no depende de la distancia focal, pero si de el diámetro de la boca del paraboloide. Distintos reflectores parabólicos con igual diámetro de boca y con distancias focales diferentes, poseen la misma ganancia. La relación f/D permite vincular la fuente primaria refiriéndose a su diagrama de radiación con el diámetro de la boca del paraboloide.

2.5. RELACIÓN FOCO SOBRE DIÁMETRO (F/D)

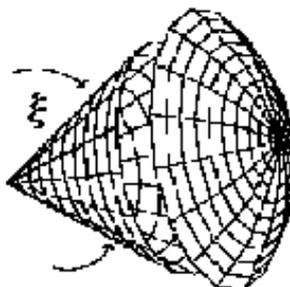


Figura 2-16 Ángulo Sólido formado por un paraboloide y su foco.

En la figura anterior podemos apreciar que uniendo el foco con la boca de el paraboloide se forma un ángulo sólido ξ . Este ángulo depende de la distancia focal f para un diámetro D constante. ξ es mayor en la medida que f se aproxime al vértice del paraboloide y menor si f se aleja. Para iluminar adecuadamente el reflector, la fuente primaria debe tener un diagrama de radiación con ángulo sólido igual a ξ .

Si la fuente primaria tiene un patrón de radiación mayor o menor que el ángulo ξ , el reflector quedaría parcialmente iluminado como en la figura 2-17.

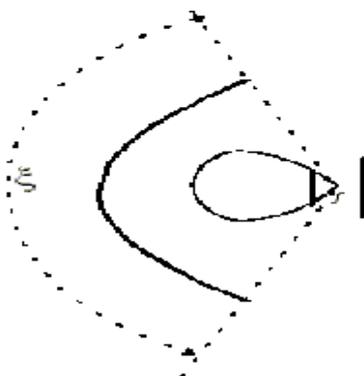


Figura 2-17 Reflector parcialmente Iluminado.

De otra forma habría desborde de energía como en la figura 2-18 (este efecto se denomina spillover).

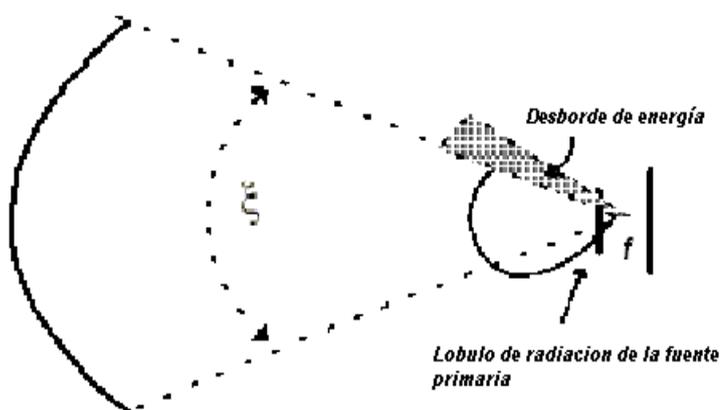


Figura 2-18 Desborde de energía por reflector mal iluminado.

Como se aprecia el diseño del patrón de radiación de la fuente primaria debe coincidir con la relación f/D del paraboloide para lograr una adecuada iluminación, ganancia y rendimiento del sistema. Para lograr una máxima ganancia, el diagrama de radiación de la fuente

primaria debe irradiar un décimo de la energía que llega al centro, en los bordes del paraboloide(-10dB). Además se busca lograr otros efectos que son mostrados en la figura 2-19.

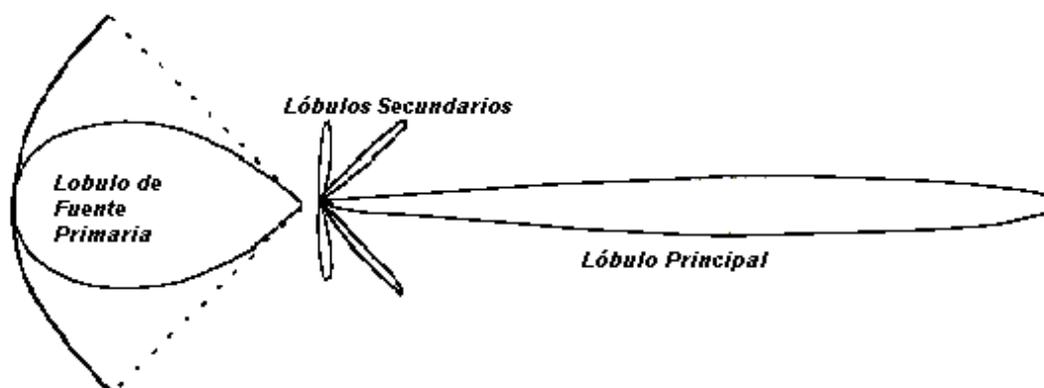


Figura 2-19 Lóbulos de radiación de un sistema con reflector parabólico

Con el fin de disminuir los lóbulos laterales, se logra un buen compromiso entre éstos y la máxima ganancia, si se ilumina el reflector con un diagrama primario que tenga -20 dB de energía dirigida a los bordes como se muestra en la figura 2-20.

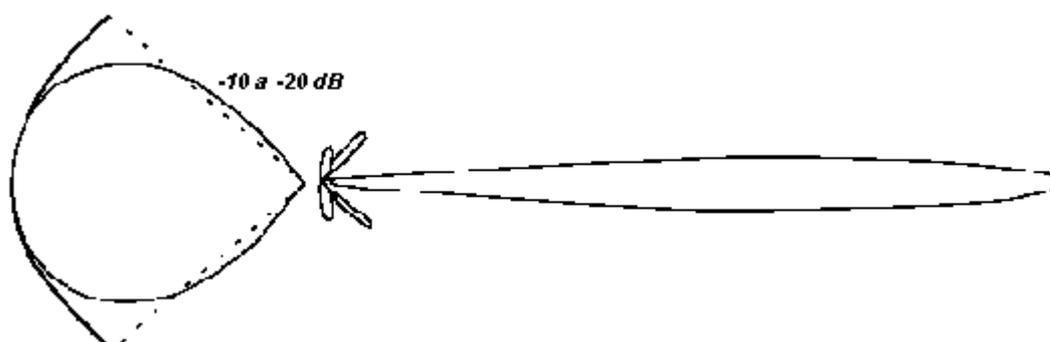


Figura 2-20 Disminución de los Lóbulos laterales de un sistema parabólico.

2.5.1. FUENTES PRIMARIAS PARA ALIMENTAR REFLECTORES PARABÓLICOS

El centro de fase de la fuente primaria debe coincidir con el foco del reflector para lograr una adecuada distribución de la energía y obtener así una iluminación sin desbordes, subalimentación y sin lóbulos laterales. El centro de fase de una antena es función de la frecuencia. Este es un punto a considerar en la selección de una fuente primaria. Otro aspecto a tener en cuenta es si el sistema requiere polarización lineal en uno o varios planos, o polarización circular, esto es importante puesto que se logran diferentes características de transmisión-recepción, según sea el caso de la polarización usada. Algunos enlaces satelitales o de microondas terrestres envían dos canales de información en una misma frecuencia, separados uno de otro 60 dB mediante el uso de polarización lineal ortogonal.

Las fuentes primarias mas usadas son:

- Dipolo de media onda con reflector.
- Antena bocina (Horn).

- Dipolo de media onda complementado con guía de onda circular y bocina circular corrugada.

Es de advertir que una antena primaria actuando con un reflector con muy baja relación $f/D \ll 0.25$ es muy sensible al cambio de frecuencia. Pequeñas variaciones de frecuencia provocan cambios en la impedancia del punto de excitación y esto ocasiona pérdidas por desadaptación. Además los reflectores con muy baja relación foco sobre diámetro exigen mayor precisión en la construcción que los de mayor relación f/D . Un buen compromiso es:

$$0.25 \ll f / D \ll 0.6 \quad (2-11)$$

Los reflectores se iluminan de dos maneras:

- Iluminación Directa
- Iluminación Indirecta

La iluminación directa se hace colocando la fuente primaria al frente del reflector. La indirecta se hace por medio de el uso de otro reflector como el reflector Cassegrain, en la figura 2-21 se muestra los dos tipos de iluminación de reflectores.

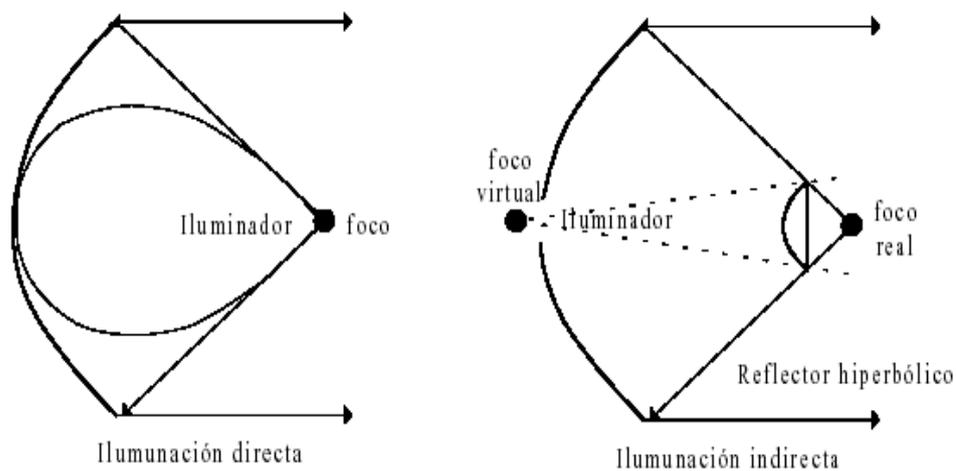


Figura 2-21 Iluminación de Reflectores.

El reflector es el mejor candidato en las sistemas de antenas de satélites debido a su peso ligero, a su estructura simple, y a la madurez de diseño. La principal desventaja es que el reflector debe ser del tipo offset para evitar el bloqueo producido por el alimentador. El reflector offset permite un mejor control del diagrama y una disminución del acoplamiento entre el alimentador y el reflector, pero no tiene simetría de rotación, lo que limita la capacidad de exploración.

2.5.2. AMPLIFICADORES DE BAJO RUIDO

Constituyen parte fundamental de una estación satelital, amplifican la señal que recibe el reflector parabólico, pero con

un bajo nivel de ruido de manera que la señal satelital débil es amplificada para su uso en el receptor.

2.5.2.1. LNA

Por sus siglas en ingles Low Noise Amplifier significa amplificador de bajo ruido, este tipo de amplificador recibe señales de entrada en una banda y su banda de salida es la misma, si ingresa una señal en banda C, a la salida del LNA la señal amplificada será de banda C.

2.5.2.2 LNB

Es un LNA pero adicionalmente posee un bloque que traslada la banda de frecuencia de la señal de entrada, sus siglas en ingles significa Low Noise Block DownConverter. El traslado de la frecuencia de la señal se hace de banda C o Ku a banda L cuyo rango de frecuencias va desde los 950 a los 2050 MHz. Los LNB digitales proveen mayor estabilidad en la frecuencia del oscilador local.

2.5.2.3. LNC

El LNC Low Noise Converter es un amplificador de bajo ruido que convierte la señal sea de banda C o Ku a banda L, es decir que un LNB es realmente un LNA mas un LNC.

2.5.2.4. LNBF

Este es un amplificador de bajo ruido LNB con alimentador (feedhorn), se usa mayormente en antenas offset para enlaces Direct to Home que significa Directo al Hogar como por ejemplo las antenas utilizadas por DirecTV. Mostramos algunos LNBF en la figura 2-22.



Figura 2-22 LNBF Amplificadores de bajo ruido con alimentador incorporado

2.6. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Existen diversos métodos para la fabricación de reflectores parabólicos, pero hay factores que son comunes e importantes, y

deben ser tomados en cuenta para ese propósito como la frecuencia de trabajo, dimensiones, errores, material utilizado como reflector, producción y otros. El análisis de los anteriores factores permiten seleccionar el método mas adecuado como el de moldeado con fibra de vidrio y resina sintética que consiste en hacer un molde de yeso en negativo, y sobre este moldear con capas de fibra de vidrio y resina dando la forma de un paraboloides.

Las dimensiones del paraboloides son dadas por la frecuencia de trabajo, luego, la frecuencia también determina la longitud de onda en base a la cual se determina el error máximo tolerable en el sistema, cuanto mayor es la frecuencia, menor es la longitud de onda por lo que las premisas para la construcción son mas exigentes.

De la conductividad de los materiales se determina el material que se encuadre en las perdidas previstas en el sistemas, y por consiguiente la sección del material que se usara en el reflector. Se deben tener en cuenta además la masa total del sistema, la estructura que soportará al reflector y la resistencia al viento. En países donde las velocidades promedio de los vientos son elevadas es necesario que el sistema sea capaz de resistir las fuerzas aplicadas sobre el mismo, razón por

la que se utilizan superficies con perforaciones de dimensiones proporcionales a λ pero muy pequeñas de manera que no se afecte la reflexión de la señal al alimentador y el sistema permita el paso del viento y por consiguiente una disminución de las fuerzas que este ejercería.

Las perforaciones deben tener un diámetro no mayor que $1/10$ a $1/20$ de l a fin de evitar pérdidas en su rendimiento. Y de esa forma los errores están vinculados a λ por lo que la diferencia entre el reflector ideal y el real debe ser menor o igual a un décimo de λ .

2.7. APLICACIONES

Las antenas parabólicas tienen suma importancia en la realización de enlaces de radio, en los que tanto el rango de frecuencias, como la potencia utilizada, ameritan un sistema de alta directividad y alta ganancia.

Asimismo, los enlaces satelitales, requieren de estos sistemas, como se ha explicado en este capítulo, los sistemas parabólicos tienen características que les permiten recibir o transmitir señales satelitales con alta ganancia, además la directividad es un factor crucial, pues se

debe establecer un enlace con un satélite ubicado aproximadamente a 36000Km.

En los sistemas de radar, las antenas parabólicas son muy utilizadas debido a que la señal de eco que se recibe es demasiado débil, específicamente los paraboloides truncados, tienen características especiales que adecuan los ángulos de media potencia para lograr la mayor directividad posible para detectar artefactos en el espacio de cobertura.

2.8. CALCULO Y DISEÑO DE UNA ANTENA PARABÓLICA

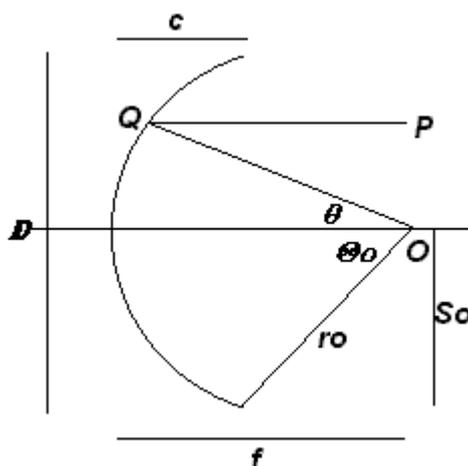


Figura 2-23 Determinación de las dimensiones de un sistema parabólico

Determinaremos las dimensiones de una antena parabólica como se muestra en la figura 2-23 para recibir y transmitir señales en banda C(4GHz-8GHz) y Ku (12.4GHz-18GHz) con una eficiencia 54% (contemplando eficiencia de apertura y de superficie).

Primero determinaremos la Ganancia G que se mostró en la ecuación 2-10 expresada en dB con la siguiente ecuación:

$$G(dB) = 10 * \log \left(\eta * 9.87 * \left(\frac{D}{\lambda} \right)^2 \right) \quad 2-12$$

reemplazando los valores de eficiencia, velocidad de la luz, y longitud de onda promedio(0.046 m) se puede determinar la grafica de ganancia en función del diámetro.

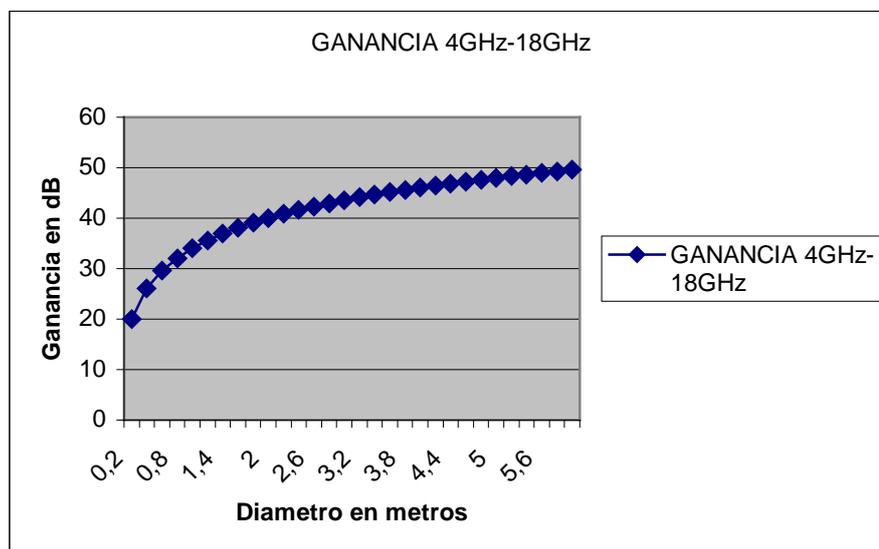


Figura 2-24 Selección del diámetro del paraboloide en función de la ganancia

Para obtener una ganancia de 48dB se selecciona una antena de 5 metros de diámetro.

Dado que la relación foco sobre diámetro se encuentra entre 0.25 y 0.6 como se menciona en la ecuación 2-11, escogemos un valor alto de relación foco sobre diámetro f/D igual a 0.50 el foco f es igual a 2,5m. Evaluando la ecuación 2-5 la profundidad del paraboloide c es de 62.5 cm. Utilizando la trayectoria PQO se determina el ángulo Θ_0 con la formula 2-13.

$$\Theta_0 = 2 * \cot^{-1} \left(\frac{4 * f}{D} \right) \quad 2-13$$

De lo anterior se obtiene el ángulo Θ_0 cuyo valor es $53,13^\circ$. Si S_0 es la mitad del diámetro, determinaremos r_0 con la ecuación 2-14.

$$r_0 = \frac{S_0}{\text{sen}\Theta_0} \quad 2-14$$

De la formula anterior se obtiene r_0 igual a 3.13 m. Es necesario determinar los ángulos de media potencia, en el caso del paraboloide de revolución, ambos son iguales y se obtienen con la formula 2-15.

$$D = \frac{4 * \pi}{\phi^2 \text{ rad}} = \frac{41256}{\phi^2} \quad 2-15$$

Donde D es la directividad, y ϕ es el ángulo de media potencia, de acuerdo a ecuación 1-27, la ganancia es igual a la directividad multiplicada por la eficiencia del sistema parabólico. Si la ganancia es de 48 dB o 63096 veces, y η es igual a 0.54 por lo que la directividad es igual a 116844 veces o 50.7 dB, de acuerdo a las ecuaciones 1-24 y 2-15 ϕ es igual a $0,59^\circ$, es decir que ambos ángulos de media potencia son menores a un grado. En sí, el sistema parabólico es sumamente directivo, característica obligatoria para una estación satelital.

Por las dimensiones de la antena, sería conveniente utilizar una malla con perforaciones para disminuir la resistencia al viento y por consiguiente, evitar que la antena se dañe. El diámetro de las perforaciones esta dado por la ecuación 2-16.

$$e = \frac{\lambda}{10} \quad 2-16$$

El calculo del valor de e determina que las perforaciones deben tener un diámetro de manera que la mínima longitud de onda sea reflejada al foco en el caso de estudio la máxima frecuencia es 18 GHz y su longitud de onda es

1,67 cm , es decir la perforación debe ser igual a 2mm o 0.2 cm. De esta manera hemos determinado las dimensiones físicas de una antena parabólica diseñada para los requerimientos establecidos.

Es necesario hablar también de los requerimientos de una estación satelital y de los satélites también, para eso se dedicara el siguiente capitulo.

CAPITULO 3

3. SATELITES GEOESTACIONARIOS Y ESTACIONES DE RECEPCIÓN DE TELEVISIÓN SATELITAL

3.1. COMPONENTES BÁSICOS DE UN SATÉLITE

Los vehículos espaciales proveen una plataforma en la cual los equipos de comunicaciones pueden funcionar y mantener esta plataforma en la orbita escogida, es decir, los satélites son vehículos espaciales. El costo del envío de equipos de comunicaciones, representa un 20% del costo total de enviar un satélite al espacio, el resto se invierte en la plataforma que mantiene dichos equipos

funcionando y en el lanzamiento. En esta sección se discuten cada uno de los principales subsistemas de un satélite.

3.1.1. COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Los principales componentes electrónicos son los equipos de comunicaciones, amplificadores, receptores, transmisores y antenas también se incluyen el control térmico que permite mantener rangos de temperatura promedio para cada uno de los componentes del satélite. Otro sistema electrónico es el de Telemetría rastreo y comando encargados de mantener y monitorear la posición y velocidad del satélite, es decir estos sistemas electrónicos controlan la navegación del mismo, además monitorean los parámetros de comunicaciones como relaciones señal a ruido, desempeño del enlace, tasas de error, que se prueban tanto para transmisión de telefonía, datos y televisión. Un diagrama simplificado del subsistema de telemetría, rastreo y comando se observa en la figura 3-1.

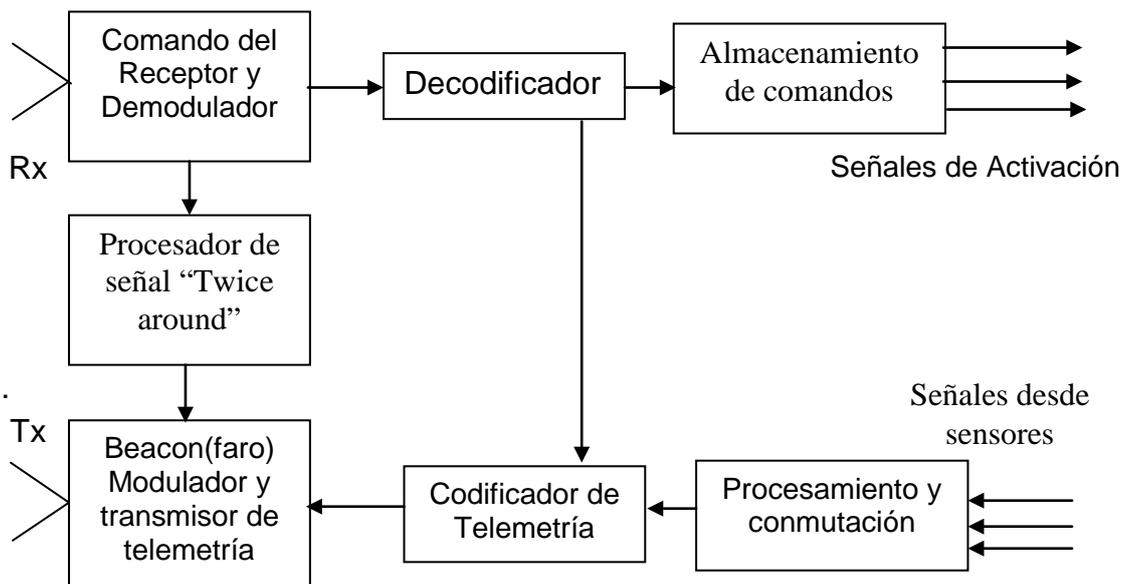


Figura 3-1 Sistema generalizado de Telemetría

Las condiciones del satélite deben ser conocidas en tierra en todo momento, Es usual escoger varios cientos de puntos alrededor de el vehículo y medir así cantidades como voltajes, corrientes temperaturas presiones y el estatus de conmutadores y solenoides, los sensores de estas cantidades se conectan a convertidores analógico a digital y sus salidas son muestreadas y transmitidas por Multiplexacion por división de tiempo, modulación digital por cambio de fase PSK. Para el rastreo del satélite se transmiten señales pulsantes en el enlace hacia el satélite y se retransmiten en el enlace hacia la Tierra midiendo la diferencia de tiempo a la manera de un

radar usual. Existen muchos sistemas de comando pero, tienen una misma secuencia de operaciones para proteger a los satélites de no autorizados o falsos comandos y errores.

1. Una señal de habilitación es transmitida para permitir la operación del sistema de comando.
2. El comando específico es enviado y almacenado.
3. El comando es verificado por el enlace de transmisión de telemetría hacia la Tierra .
4. Una señal de ejecución es enviada al satélite y el comando es ejecutado.

El subsistema de Telemetría utiliza antenas muy diferentes a las usadas por los equipos de comunicación. Esas antenas deben ser capaces de transmitir durante los giros que hace el satélite para cambiar de órbita, por lo que se utilizan arreglos de antenas tipo torniquete o cornetas bicónicas.

Los controles de altitud, se encargan de mantener las antenas apuntadas a la dirección correcta a la superficie de la tierra e inclusive hacia otro satélite; también se encargan de mantener las celdas solares apuntadas siempre hacia el sol . El control de altitud utiliza inclinómetros en una, dos y tres dimensiones

capaces de determinar la inclinación con respecto a los ejes x, y, z; acelerómetros inerciales, magnetómetros y sensores solares.

3.1.2. COMPONENTES MECÁNICOS

La estructura para mantener integrados los componentes del vehículo (satélite) deben ser diseñadas para soportar diversos tipos de cargas. Durante el lanzamiento y transferencia a la órbita existen aceleraciones, vibraciones y cargas aerodinámicas, esfuerzos centrífugos operación de propulsores y choques de separación. En la órbita de operación, se encuentra nuevamente propulsión de operación, esfuerzos centrífugos presión de radiación e impacto de micro meteoritos. La estructura solo representa un 20% de la masa total del satélite, este valor tiende a incrementarse si es de giro estabilizado y a decrecer si es de cuerpo estabilizado. A continuación mostramos tres estructuras típicas de vehículos (satélites) en la figura 3-2.

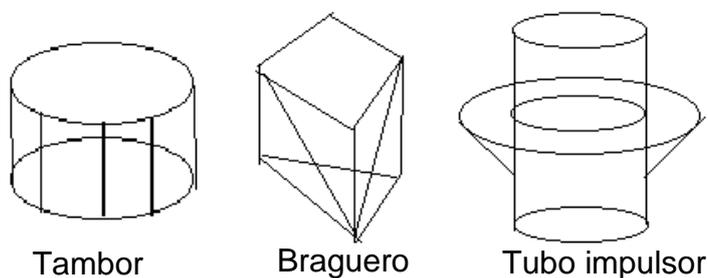


Figura 3-2 Estructuras típicas de satélites

También es necesario mencionar que los satélites poseen subsistemas térmicos que permiten mantener un equilibrio en las temperaturas de todos los sistemas, de hecho, el desempeño y confiabilidad de los mismos depende de la temperatura. Asumiendo que el vehículo es un sistema cerrado debemos tener un balance entre el calor añadido (por absorción de radiación solar, de la tierra y calor generado internamente) y las pérdidas de calor por radiación, de hecho no hay otra forma de que el vehículo pierda calor. En equilibrio tenemos la expresión mostrada en la ecuación 3-1:

$$\boxed{\begin{array}{c} \text{Energía} \\ \text{Solar} \\ \text{Absorbida} \end{array}} + \boxed{\begin{array}{c} \text{Calor} \\ \text{generado} \\ \text{internamente} \end{array}} - \boxed{\begin{array}{c} \text{Calor} \\ \text{radiado} \end{array}} \quad (3-1)$$

El balance de calor cambia notablemente cuando existe un eclipse solar por lo que se necesita el uso de calentadores con

el propósito de mantener la temperatura de los dispositivos electrónicos y de esa manera mantener operativo el sistema.

Otro subsistema mecánico es el de propulsión importante sobre todo para inyectar al satélite a la órbita que le corresponde y mantenerlo en dicha órbita, a menudo estos sistemas son denominados sistemas de control de reacción RCS por sus siglas en inglés. Comúnmente la inyección en la órbita final es realizada por máquinas cohetes sólidas, pero cada vez son más comunes los cohetes de combustible líquido, se utilizan válvulas solenoides, impulsores normales y de alto desempeño, tanques para almacenar propelentes tales como nitrógeno gaseoso, tetroxido de nitrógeno o hidracina mono-metilo y los transductores de presión, cuyas señales son usadas por los circuitos de control electrónico. El sistema de propulsión es responsable de corregir los errores de lanzamiento, la velocidad del satélite y su control de altitud.

3.1.3. OBTENCIÓN DE ENERGÍA PARA EL SATÉLITE

Existen dos posibles fuentes de energía primaria para el satélite, energía nuclear y energía solar. Las fuentes de

energía nuclear pueden ser divididas en dos categorías. La primera consiste en el uso de un pequeño reactor que calienta un hervidor en el cual se encuentra un líquido de trabajo, como el mercurio, cuyo vapor acciona una combinación turbina-alternador lo que constituye una pequeña estación de generación térmica. El segundo tipo es un único Generador Termoeléctrico Radioisótopo RTG que calienta termocuplas especiales para generar electricidad. Ambas categorías tienen la ventaja de no requerir baterías adicionales en los casos de eclipse solar., pero la desventaja de que se requiere aislamiento de los equipos electrónicos de la radiación. En misiones lejanas donde la energía solar no es fiable, no existe otra opción. En la actualidad existen satélites que utilizan combustibles nucleares mas fáciles de manejar con menores requerimientos de aislamiento.

En resumen, a pesar de que utilizar energía nuclear en los satélites es practico, no se justifica el costo para aquellos satélites que orbitan alrededor de la tierra para aplicaciones comerciales y de telecomunicaciones. La mejor opción en estos casos son los paneles de energía solar.

Los paneles solares pueden ser dispuestos en arreglos planares o alrededor de estructuras tipo tambor . a continuación en la figura 3-3 mostramos el diagrama de bloques de un sistema de potencia primaria con energía solar.

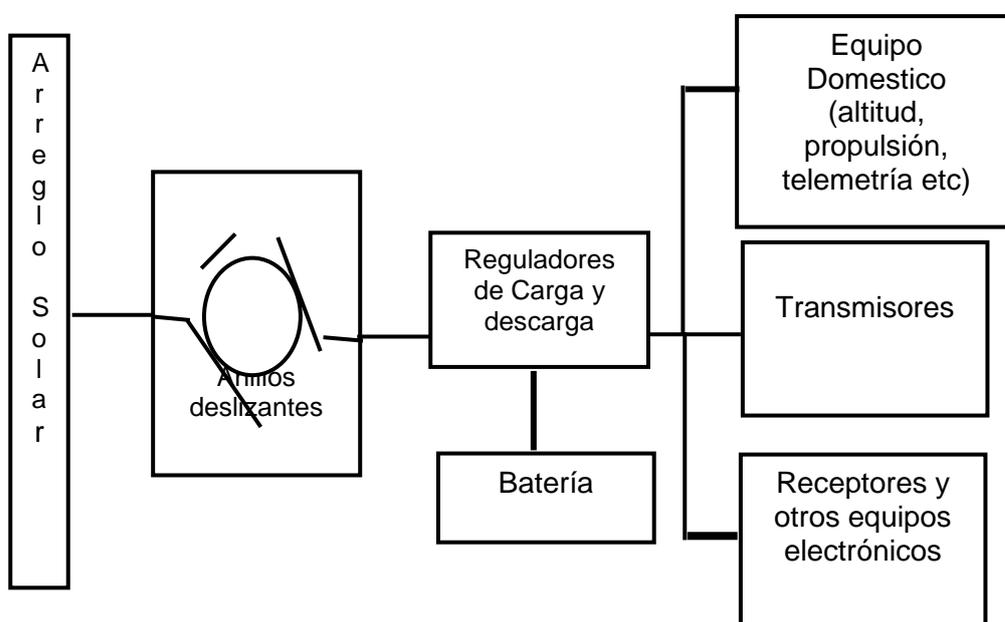


Figura 3-3 Sistema Básico de Potencia primaria Solar

La eficiencia de las celdas solares aumenta cada vez mas, compuestas por arseniuro de galio tienen valores de eficiencia del 13 al 15% en la conversión de energía solar a eléctrica, inclusive se esta aprovechando la energía de la radiación ultravioleta. Los cálculos del área de las celdas que se deben

utilizar depende de la energía solar en los solsticios y equinoccios , las pérdidas en el vidrio que se utiliza en la construcción de las celdas solares y factores de sombra producidos por antenas y otras estructuras del satélite.

3.2. ÓRBITAS

La mecánica orbital como se aplica a los satélites artificiales, esta basada en la mecánica celestial una rama exitosa de la Física clásica que se inicia con Kepler y Newton y luego fue expandida durante los siglos 18 y 19 por Lagrange, Laplace, Gauss, Hamilton, entre otros. La manera mas fácil de estudiar la mecánica orbital comienza con la Ley de gravitación universal de Newton y la segunda ley de Newton de la Dinámica, que se expresan en las ecuaciones 3-2 y 3-3.

$$\vec{F} = -\frac{G * M * m * \vec{r}}{r^2 * r} \quad (3-2)$$

$$\vec{F} = m * \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (3-3)$$

M es la masa de la tierra, G la constante gravitacional , m es la masa del satélite que comparada con la de la tierra es despreciable, lo que reduce la complejidad matemática de la expresión resultante de combinar ambas ecuaciones. El vector r apunta desde la tierra hacia

el satélite y la fuerza \mathbf{F} esta aplicada sobre el satélite. Pero es necesario utilizar un marco de referencia inercial diferente para observar la interacción de los dos cuerpos, al combinar las ecuaciones 3-2 y 3-3 en base al nuevo marco de referencia se obtiene una ecuación diferencial de dos cuerpos que es usada en el estudio de los satélites artificiales y se expresa en la ecuación 3-4.

$$\ddot{\mathbf{r}} + G * M * \frac{\mathbf{r}}{r^3} = 0 \quad (3-4)$$

Kepler estableció tres leyes en base al movimiento de los planetas alrededor del sol, igualmente aplicable a los satélites.

1. Cada planeta describe una orbita elíptica que tiene en un foco al sol.
2. Una línea trazada desde el planeta al sol recorre áreas iguales en tiempos iguales.
3. El cuadrado del período es proporcional al cubo de la distancia media desde el foco.

En base a las leyes de Kepler y la conservación del momento y la energía se deduce que cualquier cónica satisface las ecuaciones diferenciales involucradas, la elección depende de las condiciones iniciales, esto es útil para balística, pero en el caso de satélites, se utiliza solamente la elipse.

3.2.1. ÓRBITA GEOESTACIONARIA

También conocida como órbita GEO (Órbita Terrestre Geosíncrona) o de Clarke , en honor al escritor Arthur Clarke, que escribió en 1945 por primera vez de esta posibilidad. La órbita GEO está situada a 35848 Km. de altura, con una latitud de 0 grados, es decir, situada sobre el Ecuador. El período de esta órbita es de exactamente 24 horas y por lo tanto estará siempre sobre la misma posición relativa respecto a la Tierra. La mayoría de los satélites actuales son GEO. Los satélites GEO (satélites que viajan en órbitas GEO) precisan menos cantidad de ellos para cubrir la totalidad de la superficie terrestre, pero poseen un retardo de 0,0134 grados debido a la forma elipsoidal de la tierra por lo que recorren la orbita con 0,24 seg. de retardo por día, de ahí que no tardan exactamente un día en cubrir una vuelta entera a la Tierra, debido al camino de ida y de vuelta que debe recorrer la señal, la tabla 3-1 muestra varios satélites geoestacionarios, con su ubicación, sus velocidades y periodos de revolución.

Los satélites GEO necesitan también obtener unas posiciones orbitales específicas alrededor del Ecuador para mantenerse lo suficientemente alejados unos de otros (unos 2 grados aproximadamente) para evitar posibles interferencias entre satélites. La ITU y la FCC se encargan de administrar estas posiciones.

El asumir que solo existe la interacción entre la Tierra y el satélite es algo erróneo debido a la presencia de la Luna y el Sol y también no es correcto asumir que la masa del satélite es despreciable con respecto a la de la Tierra debido a que no es esférica. Todos esos factores producen perturbaciones orbitales que como se mencionó anteriormente producen retardos que deben ser corregidos, de allí la importancia de los sistemas que componen al satélite mencionados en subtemas anteriores.

Satelite	Latitud °	Longitud°	Altitud Km	Velocidad Km/s	Periodo h
SATMEX 5	0	-116	35770,4	3075	23:56.6
ECHOSTAR 1	0	-148	35778,6	3075	23:56.6
ECHOSTAR 4	0	-142	35839,6	3072	23:58.43
SIRIUS	-1	-141	36106	3062	24:11.49
INMARSAT 2-F3	0,7	-141	35773,4	3075	23:56.0
ECHOSTAR 2	0	-148	35776,6	3075	23:56.5
GOES 10	0	-135	35767,6	3076	23:56.9
SATCOM C4	0	-135	35765,5	3076	23:56.7
GALAXY 1R	0	-133	35782,3	3075	23:56.7
SATCOM C3	0	-130	35769,2	3075	23:56.4
GALAXY 9	0	-127	35770	3075	23:56.5
GALAXY 5	0	-125	35788,1	3074	23:56.6
GALAXY 10R	0	-123	35773,4	3075	23:56.5
ECHOSTAR 5	0	-119	35786,2	3074	23:56.6
ANIK E1	0	-118	35776,6	3075	23:56.4
SOLIDARIDAD 2	0	-113	35776,9	3075	23:56.5
ANIK E2	0	-111	35784,8	3074	23:56.4
MSAT M1	0	-106	35772,3	3075	23:56.7
GSTAR4	0,3	-105	35784,3	3074	23:56.8
GE-1	0	-103	35778,6	3075	23:56.6
AMSC 1	0	-101	35779,1	3075	23:56.8
DIRECTV2	0	-100	35777,4	3075	23:56.5
TELSTAR 5	0	-97	35782,3	3075	23:56.9
GALAXY 8I	0,3	-95	35782,8	3074	23:56.7
GALAXY 11	0	-91	35785,5	3074	23:56.7
TELSTAR 402R	0	-89	35780,5	3075	23:56.6
GE 3	0	-87	35781,8	3075	23:56.7
GE-2	0	-84	35780,9	3075	23:56.7
BRASILSAT B3	0	-84	35780	3075	23:56.7
GE-5	0	-79	35784,3	3074	23:56.9
NAHUEL 1ª	0	-71	35780,9	3075	23:56.7
BRASILSAT B1	0	-70	35781,5	3075	23:56.5
BRASILSAT B2	0	-65	35779,7	3075	23:56.9
ECHOSTAR 3	0	-61	35787,5	3074	23:56.6
INTELSAT 805	0	-55	35782,5	3075	23:56.9
INMARSAT 3-F4	0	-54	35790,6	3074	23:56.8
INTELSAT 705	0	-50	35791,7	3074	23:56.8
PANAMSAT 3R	0	-43	35784,6	3074	23:56.13
INTELSAT 806	0	-40	35795,4	3074	23:56.8
INTELSAT 801	0	-31	35790,5	3074	23:56.8
HISPASAT 1B	0	-30	35777,7	3075	23:56.8

Tabla 3.1 Satélites de la Orbita Geoestacionaria

Un satélite geoestacionario está ubicado en un plano en el ecuador, la Luna está girando alrededor de la Tierra con un periodo mayor que el del satélite; el efecto final es una ligera variación de la inclinación del satélite, eso también ocurre en el caso de la interacción con el Sol. El sistema de telemetría, controles de altitud y propulsión corrigen estas variaciones manteniendo al satélite en su órbita adecuada.

Dos tipos de órbitas que se encuentran en el plano ecuatorial pero que no son geoestacionarias son las órbitas MEO (Órbita Terrestre Media) y LEO (Órbita Terrestre Baja). Los MEO se encuentran a una altura de entre 10075 y 20150 Km. y a diferencia de los GEO su posición relativa respecto a la Tierra no es fija. Debido a su menor altitud se necesitarán más satélites para cubrir la superficie terrestre. Los satélites encauzados en este tipo de órbitas son de tres tipos, LEO pequeños (centenares de Kbps) destinados a aplicaciones de bajo ancho de banda, LEO grandes (miles de Kbps) albergan las aplicaciones de los anteriores y otras como telefonía móvil

y transmisión de datos y finalmente los LEO de banda ancha (megaLEO) que operan en la banda de Mbps.

3.2.2. ORBITA POLAR

A pesar de que la órbita geoestacionaria es de gran interés para los satélites de comunicaciones, no está exenta de defectos como la falta de cobertura en los polos, sobre todo en las latitudes septentrionales del planeta. Una variedad de órbitas han sido utilizadas y propuestas para aplicaciones de comunicaciones, pero de particular interés es la órbita de Molniya o polar. Este caso especial envuelve una órbita altamente elíptica con permanencia en apogeo sobre el hemisferio norte y un período sincronizado a un medio día sideral. La inclinación requerida es dada por la ecuación 3-5.

$$5 * \cos^2 i - 1 = 0 \quad (3-5)$$

Donde i tiene un valor de 63.4° , esto permite al apogeo permanecer sobre el hemisferio norte. La figura 3-4 muestra la versión de la órbita de Molniya de doce horas, el valor de perigeo es un compromiso entre el arrastre atmosférico para

bajos valores y perdidas de la masa útil para valores superiores.

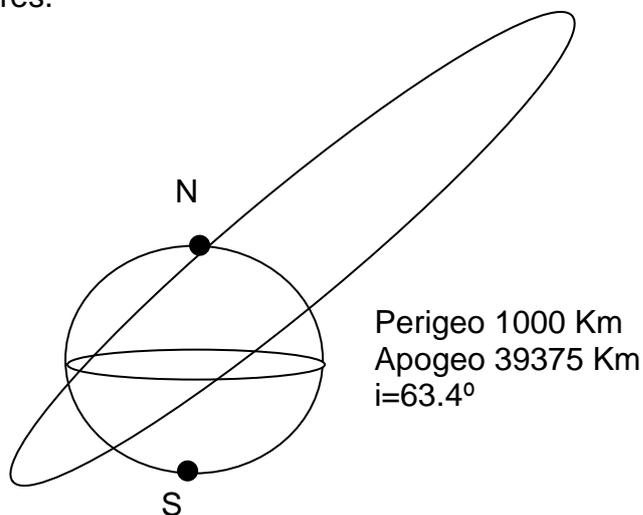


Figura 3-4 Órbita Polar (Molniya)

3.3. ENLACES SATELITALES

En comunicaciones, un satélite es una repetidora que recibe la señal desde una estación terrena, la procesa y la envía nuevamente a otra estación terrena ubicada a una distancia considerable. Los servicios que se pueden prestar utilizando este tipo de infraestructura son muy difundidos debido a que las nuevas tecnologías permiten manejar el ancho de banda de manera eficiente utilizando técnicas de acceso múltiple. Entre estos servicios se encuentran los enlaces para redes privadas o públicas como la Internet, difusión de señales de

televisión, localización y las aplicaciones de propósito científico y militar.

3.3.1. APLICACIONES COMERCIALES

Las cantidades invertidas en construir y enviar al espacio un satélite son cuantiosas, por lo que dichas inversiones deben retornar esos valores incluyendo las respectivas ganancias, de manera que esos proyectos se concreten. Incluso grandes productos ofrecidos en el tiempo no adecuado para su difusión producen fracasos económicos sonados como la telefonía satelital IRIDIUM. Una de las organizaciones que regentaron el sistema de satélites fue INTELSAT (International Telecommunications Satellite Organization), conformada por 120 países, constituyo una de las mas grandes organizaciones de este genero, ahora es una de las empresas de provisión de servicios satelitales mas grandes del mundo, debido al traspaso de INTELSAT a la administración privada. A continuación mencionaremos aplicaciones de enlaces satelitales especificas.

3.3.1.1. ENLACES DE DATOS

En el caso de un enlace de datos, este regularmente es bidireccional, es decir involucra tanto la transmisión como la recepción satelital, una red de computadoras se enlaza con otra red por medio de un equipo denominado ruteador, que trabaja a nivel de red según el modelo OSI de comunicación de datos, este equipo debe tener una salida especial para conectarse a un modem satelital que se configura para transmitir y recibir datos modulando una portadora en frecuencia intermedia, regularmente 70 MHz, esta señal se envía al HPA o amplificador de potencia que luego se envía por medio de la antena hacia el satélite, en el enlace descendente se utiliza un down converter para bajar la frecuencia desde la banda C o Ku a la frecuencia intermedia en la que trabaja el modem satelital. El modem puede ser configurado para transmitir datos e inclusive señales de video digital en formato DVB se puede seleccionar ancho de banda, el tipo de modulación digital, el FEC, las frecuencias DCF y UCF donde DCF es la frecuencia para el enlace de bajada y el UCF es la frecuencia

utilizada para calcular el enlace de subida. El proveedor satelital, asigna el transponder en el cual se va a realizar el enlace y monitorea los niveles de potencia para que un enlace no interfiera con otro .

En enlaces satelitales de datos, existen varias técnicas de acceso múltiple que se utilizan cuando existen varias estaciones que comparten un mismo transponder. FDMA es acceso múltiple por división de frecuencia y consiste en dividir un transponder en varias portadoras donde a cada portadora se le asignan dos frecuencias una para el enlace de subida y otra para el enlace de bajada, existen dos variantes: SCPC Canal único por portadora y MCPC canales múltiples por portadora. Los terminales para este tipo de acceso múltiple son mas económicos y usuarios con diferentes capacidades pueden ser acomodados, por ejemplo se pueden acomodar usuarios con 64Kbps o 128Kbps. En contraste, FDMA es un sistema muy rígido por lo que es difícil realizar cambios por reasignación de canales y el

ancho de banda se incrementa lógicamente con el incremento de nodos.

TDMA es acceso múltiple por división de tiempo, en este caso se asignan ranuras de tiempo a cada portadora, por lo que el ancho de banda del transponder es totalmente utilizado y se produce una optimización del ancho de banda y de la potencia. Como desventaja se debe utilizar sincronización centralizada, tiempos de encabezado y guarda que reducen el caudal eficaz y terminales de alto costo.

El acceso múltiple por división de código CDMA utiliza la técnica de modulación de espectro ensanchado que es muy robusta ante la interferencia y requiere baja potencia de transmisión aunque se utiliza para bajas velocidades de transmisión. Una gran desventaja es justamente el uso del ancho de banda mayor debido a que la señal es dispersada.

Es necesario calcular la relación portadora a ruido, que nos muestra la fortaleza del enlace con relación al ruido.

Esto se puede determinar por medio de las siguientes consideraciones:

La antena posee una ganancia que contribuye a la recepción de señal, el LNB también posee una ganancia, adicionalmente, una temperatura equivalente en grados Kelvin que es una medida del ruido térmico que puede afectar al amplificador de bajo ruido. De hecho la ganancia de recepción esta constituida por la suma de las ganancias de antena y de LNB. Si relacionamos esa ganancia con la temperatura de ruido, podremos determinar una figura de mérito del sistema G_r/T_e . La potencia de recepción en la estación viene dada por los valores que cada satélite muestra en sus Footprints (Huellas) ese valor se denomina PIRE de recepción, es la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente, es decir la potencia que una fuente isotrópica radiaría, equivalentemente a la potencia que el satélite irradia y viene dada en dBW. Claro que esta potencia es afectada por las perdidas debido al espacio libre, perdidas atmosféricas y otras misceláneas.

$$\frac{C}{N_0} = \frac{PIRE_{RX} * G_{RX}}{L_S * T_e * k} \quad 3-6$$

Donde k es la constante de Boltzman. También se puede calcular el C/No en dB:

$$\frac{C}{N_0}(dB) = PIRE_{RX}(dB) - L_S(dB) + G_R(dB) - 10 * \log T_e - 10 \log k \quad 3-7$$

Para determinar la relación Energía de bit sobre ruido es dada por la ecuación 3-8:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N_0} * \frac{1}{f_b} \quad 3-8$$

f_b es la velocidad de los datos medida en bits por segundo, que adicionalmente es una medida del ancho de banda utilizado para la recepción de una señal. Este parámetro es muy importante debido a que es una medida de la calidad del enlace y de la recepción de datos, útil para el caso de recepción de televisión satelital.

3.3.1.2. PROVISIÓN DE SEÑALES DE TELEVISIÓN VÍA SATÉLITE

La difusión de señal de televisión vía satélite esta totalmente implementada ya sea en sus variantes analógicas que están quedando descontinuadas o en sus variantes digitales principalmente los estándares ATSC(Advanced Television Systems Committee -USA) o DVB(Digital Video Broadcasting-Europa). La diferencia radica en el equipo receptor, ancho de banda y modulación, pero en forma general existen ventajas de este tipo de difusión de señal de televisión, dado que, desde el satélite se tiene una cobertura mas amplia que la de una red implementada de manera terrestre, además, el satélite puede trabajar con diferentes normas ofreciendo mayor diversidad de canales. Entre las desventajas se puede mencionar que el costo del receptor recae en el usuario, lo que supone una elevada inversión inicial. La vertiginosa transición de formatos analógicos a digitales ha permitido desarrollar de mejor manera la encriptación de las señales de televisión, lo

que obliga al usuario a pagar por esas señales comprando un equipo especial.

La ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones), ha desarrollado la normativa para la transmisión digital de señales de televisión basada en el estándar DVB desarrollado en Europa y que define tres variantes DVB-S para difusión de señal vía satélite, DVB-T difusión terrestre y DVB-C Difusión por cable. Debido al amplio uso del estándar DVB-S, decidimos adquirir un receptor digital capaz de recibir señales en dicho formato basado en los estándares de compresión de señales de video (MPEG-2 Motion Pictures Experts Group) y de compresión de audio (MUSICAM).

MPEG-2 (720 píxeles por 576 píxeles) basa su método de compresión en la predicción de variaciones del comportamiento de la imagen en tramas sucesivas previas o posteriores, tanto espacialmente como temporalmente. Se codifica totalmente una imagen y luego se transmiten las variaciones en

espacio(correlación espacial) y tiempo(correlación temporal), de esta forma no se tienen que codificar nuevas imágenes, solo se transmite las variaciones en cada bloque de 8x8 píxeles por medio de un muestreo estadístico sobre dicha matriz (bloque). La pantalla MPEG-2 define 90 bloques horizontales y 72 verticales. Debido a que existen programaciones que generan mas variaciones de imágenes que otras, las tasa de datos comunes que se logran con MPEG-2 son: para telediarios 3Mbps, dibujos animados 2Mbps, programación convencional 4-5 Mbps, para películas con calidad 6Mbps y para deportes 8Mbps.

En el caso del sonido aplicando el algoritmo MUSICAM se logran tasas de datos de 256Kbps para una señal de audio estereofónica basando la compresión en que el oído humano para un mismo sonido escucha las frecuencias con mayor amplitud por lo que se divide el ancho de banda del sonido en 32 sub-bandas de las cuales se suprime las frecuencias enmascaradas o de

percepción mas débil por las de mayor amplitud (enmascaramiento temporal).

El flujo elemental empaquetado(PES Packetized Elementary Stream) de datos es producto de la multiplexación de los datos de audio, los datos de video u otros datos, pudiéndose transmitir 1 PES de video, hasta 6 PES de audio y 1 PES de datos (teletexto), en el caso de comunicación full-duplex se implementa la denominada televisión interactiva. Estos PES se multiplexan nuevamente para formar el flujo de programa o PS (Program Stream) Cuya velocidad total de transmisión es la suma de las de datos, video y audio. Se multiplexan varios programas, cada uno con su reloj de referencia, para formar un flujo de transporte (TS Transport Stream) y una tabla de mapa de programa (PMT Program Map Table). La figura muestra la manera en que se transmiten varios programas en el estándar DVB-S.

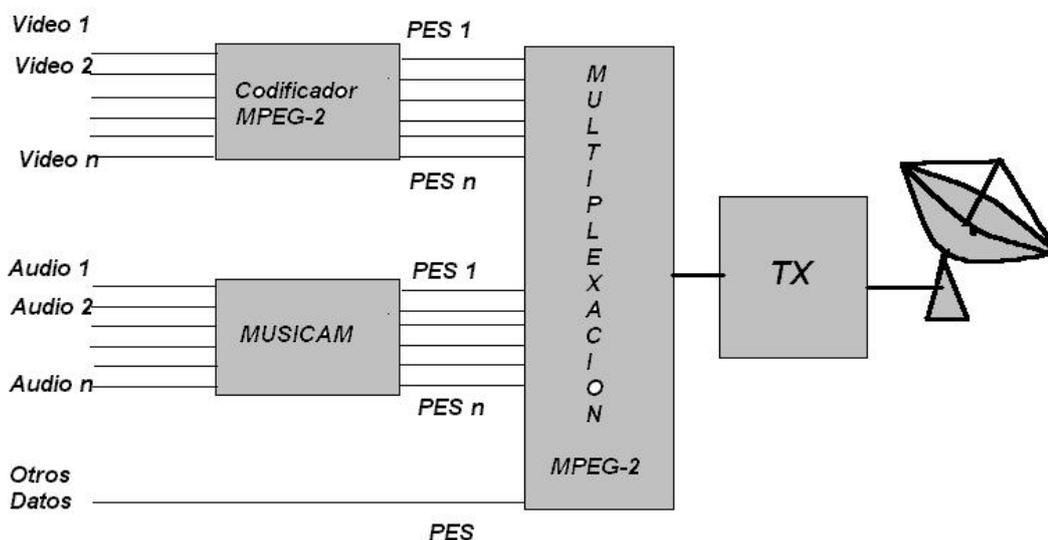


Figura 3-5 Transmisión de señal DVB-S de varios programas en un solo transponder

La caja que simboliza la transmisión realmente posee varias etapas encargadas de la codificación del canal y la modulación digital. El espectro de energía del flujo de transporte se dispersa como en la técnica de modulación de Espectro ensanchado, se aplica una operación OR exclusiva al flujo de transporte y a una secuencia binaria concreta de mayor tasa de datos. Después a ese nuevo flujo se le aplica codificación de Reed Solomon (FEC

Forward Error Correction-Corrección de errores hacia adelante) donde se divide el flujo en paquetes de 188 bytes a los cuales se le introduce 16 bytes redundantes, es decir que se incrementa el número de bytes en una tasa $204/188$ lo que permite detectar hasta 8 bytes erróneos.

El siguiente bloque es el de entrelazado en el cual los 204 bytes del nuevo paquete se introduce en 12 registros, luego se transmiten los bits de cada registro en el mismo orden es decir primero los bits de orden 0 de cada registro luego los de orden 1 y así sucesivamente, con esto se logra que una ráfaga de error afecte a la menor cantidad de bytes del paquete. Después se aplica codificación convolucional de Viterbi en la que de acuerdo a un algoritmo se transmiten bits de redundancia por cada bit de datos, es decir, si la tasa es $3/4$, por cada tres bits de datos se transmite uno de redundancia, lo máximo que se puede implementar es $1/2$, las tasas comunes son $3/4$, $2/3$, $5/4$ y $7/8$.

Se realiza un filtrado de banda base utilizando un filtro de coseno elevado (Filtro de Nyquist), y después modulación digital QPSK, pues tiene reducido uso de ancho de banda, alta eficiencia espectral y como los cambios no se registran en la amplitud sino en la fase, es inmune a los ruidos atmosféricos.

3.3.1.3. LOCALIZACIÓN

El Sistema de Posicionamiento Global por sus siglas en inglés GPS (Global Positioning System) es un sistema compuesto por una red de 24 satélites denominada NAVSTAR situados en órbitas a 20200 Km de altura. Cada satélite tiene un periodo de 12 horas, por lo que recorren la tierra dos veces al día, no importa la hora del día ni el lugar del planeta en que alguien se encuentre y bajo cualquier condición meteorológica se puede determinar la posición geográfica y la altura con relación al nivel del mar. Esta red de satélites es propiedad del Gobierno de los Estados Unidos de América y su gestión es responsabilidad del Departamento de Defensa (DoD).



Figura 3-6 Órbitas descritas por los satélites de la red GPS

Cada satélite procesa dos tipos de datos: las Efemérides que corresponden a su posición exacta en el espacio y el tiempo exacto en UTM (Universal Time Coordinated), y los datos del Almanaque, que son estos mismos datos pero en relación con los otros satélites de la red, así como también sus órbitas. Cada uno de ellos transmite todos estos datos vía señales de radio ininterrumpidamente a la Tierra. El receptor de GPS recibe las señales de tres satélites, comienza con la de mayor intensidad y luego con el resto de manera que cada satélite genera una esfera que contiene el punto donde se encuentra el receptor, el producto de la intersección de las tres esferas es el área en la cual se

encuentra el receptor, al captarse un cuarto satélite otra esfera se superpone al área de la intersección de las tres anteriores disminuyendo el área donde se encuentra el receptor determinando su posición con una exactitud que depende del receptor del GPS y la aplicación. Para limitar su exactitud se incorporaron errores aleatorios a la señal, es decir, que los receptores civiles (no los militares) están sujetos a una degradación de la precisión, en función de las circunstancias geoestratégicas y geopolíticas del momento, que queda regulada por el Programa de Disponibilidad Selectiva del DoD de los EEUU o SA (Selective Availability). De todo ello se deduce que, habitualmente, los receptores GPS tienen un error nominal en el cálculo de la posición de aprox. 15 m. que pueden aumentar hasta los 100 m. cuando el DoD lo estime oportuno.

En cuanto a la localización en sí, el GPS es una herramienta importante para la determinación de la posición de aviones, barcos, automóviles y personas, en el mercado existe una diversidad de productos para

localización, y los resultados en el caso de recuperación de vehículos robados es elevado: un 98 por ciento de efectividad, adicionalmente el GPS permite a los excursionistas llegar a sus destinos sin perderse. Inclusive el GPS es utilizado para la determinación de límites de terrenos y demarcación exacta de fronteras.

3.3.2. APLICACIONES CIENTÍFICAS Y MILITARES

Una de las principales aplicaciones científicas de los satélites es su uso para determinar las condiciones meteorológicas del planeta, tales como el clima, la velocidad de los vientos e incluso el análisis del uso de la tierra, determinación de superficies cultivables, superficies en riesgo debido a su proximidad a volcanes. En el Ecuador el CLIRSEN (Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos) utiliza señal de satélites meteorológicos para realizar estudios del uso del suelo en el país, El INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) tiene la función de realizar las predicciones meteorológicas basadas en observaciones de satélites como el INOCAR (Instituto Nacional de Oceanografía de la Armada del Ecuador), que

observa las corrientes marinas, condiciones de temperatura del mar, etc.

Existen satélites meteorológicos en la órbita geoestacionaria, es decir que orbitan en el plano ecuatorial, EUMETSAT (Meteosat), EE.UU. (GOES), Japón (GMS), China (FY-2B), Rusia (GOMS) y la India (INSAT) son los sistemas de satélites meteorológicos geoestacionarios, tienen cobertura de aproximadamente el 42% de la superficie terrestre y para tener una cobertura global se requiere de cinco o seis satélites, a pesar de esto, no se pueden ver los polos. Los satélites meteorológicos de órbita polar son explotados por los EE.UU. (NOAA, QuikSCAT), Rusia (Meteor) y China (FY-1). Con un solo satélite se obtiene la cobertura global.

3.4. RUIDO, INTERFERENCIA Y DEGRADACIÓN DE SEÑAL

La atmósfera terrestre, no es el espacio libre ideal, y los equipos electrónicos no están compuestos por componentes ideales, las alteraciones en las moléculas del aire producidas por la radiación solar, el paso del flujo de electrones a través de resistencias, condensadores, inductores y semiconductores de comportamiento no

ideal, producen alteraciones en la señal que es procesada por esos componentes y que viaja entre el satélite y la estación terrena. Esas alteraciones son las señales de ruido, señales interfirientes y la degradación de la señal de interés.

3.4.1. RUIDO TÉRMICO

Es el ruido debido a las fluctuaciones aleatorias de corrientes eléctricas. Nyquist probó sobre la base de consideraciones termodinámicas que la media cuadrática del voltaje a través de una resistencia y medida en un ancho de banda B es dada por:

$$\overline{e_n^2} = 4 * k * T * B * R \quad 3-9$$

Donde e_n = voltaje de ruido

k = constante de Boltzman, $1.38 * 10^{-23}$ J/K

R = resistencia

B = ancho de banda del ruido

T = temperatura absoluta, K

La potencia de ruido disponible en una carga acoplada esta dada como:

$$P_n = \frac{\overline{e_n^2}}{4 * R} = k * T * B \quad 3-10$$

Esa potencia es independiente de la frecuencia (por eso se denomina blanco). La fórmula de Nyquist es válida para la mayoría de los espectros de comunicaciones, pero para las regiones de ondas milimétricas e infrarrojos, una fórmula más exacta debe ser usada:

$$P_A = \frac{h * f}{e * \frac{h * f}{k * T}} + h * f \quad 3-11$$

A altas frecuencias el ruido térmico desaparece dejando solo el ruido cuántico (segundo término). La densidad del ruido está dada por:

$$N = N_0 * B \quad 3-12$$

$$N_0 = k * T \quad 3-13$$

De lo que se deduce:

$$\frac{f}{T} = 21 \quad 3-14$$

si f está en GHz y T en grados K

3.4.2. RELACIÓN DE DEGRADACIÓN SEÑAL A RUIDO

La relación de potencia de señal a ruido definida abajo es una medida conveniente del desempeño en varios puntos de un enlace:

$$SNR = \frac{\textit{potencia_de_la_señal}}{\textit{potencia_del_ruido}} \quad 3-15$$

La señal puede ser una señal de información, una señal de banda base o una portadora no modulada. La SNR se puede degradar en dos maneras:

1. Por el decremento de la potencia de la señal deseada.
2. A través del incremento de la potencia del ruido o la señal interfiriente.

La primera se conoce como Pérdidas y la segunda como Interferencia. Las pérdidas ocurren cuando una porción de la señal es absorbida, reflejada o dispersada a lo largo de su ruta hacia el receptor. Existen cuatro fuentes primarias de ruido
1) ruido térmico, 2) ruido celeste (galáctico, atmosférico) 3) no

linealidades del sistema y 4) señales interfirientes de otros usuarios a la misma o en bandas de frecuencias aledañas.

La relación o razón portadora a ruido C/N es la razón entre la potencia de la portadora recibida y la potencia del ruido en un ancho de banda determinado. Esta relación constituye un indicador de la forma en que se desempeñará una estación terrestre en una ubicación determinada.

La relación G/T (Ganancia sobre Temperatura de Ruido) es la cifra de merito o figura de merito de una antena o un LNA.

Mientras mas elevada es, mejor es la capacidad de recepción en la estación terrestre.

3.4.3. FUENTES DE RUIDO Y PÉRDIDAS EN LA SEÑAL PARA UN ENLACE SATELITAL

Para un enlace satelital tenemos:

Perdidas por limitación de banda._Debido al uso de sistemas de filtrado para limitar la banda de operación y evitar interferir bandas aledañas, por lo que no toda la energía es enviada sino

la que esta confinada en la banda de interés y el resultado final es una pérdida.

Interferencia Inter simbólica._El filtrado para limitar banda en el transmisor, receptor y canal de comunicación provocan que los pulsos digitales recibidos se traslapen unos con otros lo que significa que un pulso interfiere a otro en el proceso de detección lo que se denomina degradación ISI.

Ruido de fase en el oscilador local (LO)._ Cuando un oscilador local es usado para mezclar señales, fluctuaciones de fase (jitter) adicionan ruido de fase a la señal. En el transmisor las fluctuaciones de fase provocan dispersión fuera de banda que luego es filtrada causando perdidas en la señal.

Conversiones de Modulación AM a PM._Esa conversión es un fenómeno de ruido de fase que ocurre en dispositivos no lineales como los amplificadores TWT (Tubos de ondas viajeras). Las variaciones de amplitud de la señal producen variaciones de fase que adicionan ruido de fase que será

detectado coherentemente. Este fenómeno puede generar bandas laterales que resultaran en perdidas de señal.

Pérdida o Incremento en el Limitador._ Un limitador potente puede incrementar la fortaleza de dos señales y suprimir la debilidad, lo que puede resultar en un incremento o perdida de la señal.

Productos de Intermodulación por Portadora Múltiple (IM)._
Cuando en un dispositivo no lineal como un TWT o un SCPA están presentes varias señales con portadoras en diferentes frecuencias, se da una interacción multiplicativa entre las portadoras lo cual produce señales combinadas (espurias o productos de intermodulación), que constituyen perdidas y a la vez causa de interferencia.

Perdidas por Modulación._ El presupuesto de enlace es el calculo de la potencia de la señal recibida, es decir, solo la potencia utilizada para transmitir los símbolos es útil, la utilizada en la portadora constituye pérdidas por modulación.

Eficiencia de la antena._Las antenas son transductores que convierten señales electrónicas en campos electromagnéticos y viceversa. Son también utilizadas para enfocar energía en una dirección determinada. Las dimensiones de la antena y otras características como bloqueo de la apertura, difusión de la señal, re-radiación, difracción en los bordes, contribuyen a una reducción en la eficiencia de la antena(pérdidas) .

Pérdidas y ruido en la membrana del alimentador (feeder)._ Esa membrana esta en el camino de la señal, por lo que difundirá y absorberá algo de la energía de la señal, lo que resulta en una pérdida. En Física se establece que un cuerpo que puede absorber radiación también puede reflejarla, lo que significa que esa membrana puede adicionar ruido a la señal.

Pérdidas por apuntamiento._Existe una pérdida ya sea en la antena transmisora o en la antena receptora si están imperfectamente apuntadas.

Perdidas por polarización._ Existe una pérdida de señal debida a cualquier desigualdad entre las antenas de transmisión y recepción en cuanto a la polarización.

Ruido y pérdidas atmosféricas.- La atmósfera es responsable de pérdidas en la señal y ruido. Las moléculas de oxígeno y agua, generan ruido a través del espectro de RF, otra causa es la caída de lluvia que absorbe gran cantidad de la energía de la señal y en el caso de radio enlaces aumenta la zona de Fresnel lo que provoca que exista pérdida de información debida a obstáculos.

Perdidas de espacio libre._Existe una disminución en la fortaleza de la señal (densidad de potencia o densidad de flujo) como función de la distancia, para un enlace satelital, esta es la mayor de las pérdidas debido a las distancias que recorren las señales.

$$L_s = \left(\frac{4 * \pi * R}{\lambda} \right)^2 \quad 3-16$$

Interferencia de canal adyacente._ Se caracteriza por señales no deseadas de otros canales adyacentes inyectando su energía (información) en el canal de interés.

Interferencia Cocanal._ Esta interferencia se refiere a la degradación causada por una forma de onda interfiriente que aparece con el ancho de banda de la señal. Puede ser introducido de múltiples maneras como transmisiones accidentales poca discriminación entre polarizaciones vertical y horizontal, etc.

Ruido cósmico, estelar, galáctico, y terrestre._ Todos los cuerpos celestes tales como estrellas y planetas radian energía, este ruido en la antena degradará el SNR.

Perdidas de línea de transmisión del feeder._ La parte del receptor que enfrenta la señal que llega débil (10^{-12} W) es donde gran cuidado se toma para mantener el ruido lo más pequeño posible hasta que la señal sea correctamente amplificada. La guía de onda entre el feeder y el receptor contribuye con atenuación y ruido térmico.

Ruido del receptor._ es el ruido térmico generado por los dispositivos electrónicos del receptor.

3.5. REQUERIMIENTOS PARA UNA ESTACIÓN DE RECEPCIÓN DE TELEVISIÓN SATELITAL

La estación receptora es la ultima parte del enlace satelital descendente, consta de 4 componentes principales:

- La antena
- El Amplificador de bajo Ruido
- El Receptor con un monitor
- Cables y accesorios

Como se menciona en el Capítulo 2 las antenas parabólicas son utilizadas por su alta directividad y ganancia, además se diseñan de manera que cumplan con requerimientos de ancho de banda y eficiencia. Se pueden utilizar cualquiera de los tipos de antenas parabólicas mencionadas, pero seria conveniente que dichas antenas tengan la capacidad de ser movilizadas para variar el ángulo de elevación y por consiguiente captar diferentes satélites, aunque existen servicios que

permiten recibir una gran cantidad de canales desde un solo satélite, pero su costo mensual es muy elevado.

Una antena parabólica de foco primario puede ser utilizada para aplicaciones domésticas; en el caso del Laboratorio de Telecomunicaciones de la FIEC, la antena posee 5m de diámetro. Las antenas offset son utilizadas para aplicaciones como DirecTV en las que reciben varios canales desde un solo satélite. Las antenas Cassegrain y Gregorianas son utilizadas por los canales de TV debido a que requieren recibir señales con altísima ganancia por lo que las dimensiones de las antenas son demasiado grandes y los equipos de preferencia deben ser accesibles para su reparación o mantenimiento, por lo que estas antenas utilizan reflectores adicionales para trasladar al foco del sistema parabólico.

Al alimentador se conectan los LNB que son amplificadores de bajo ruido, que amplifican la señal recibida (LNA) y adicionalmente poseen un bloque Down-Converter que cambia la banda de entrada sea C o Ku a banda L (900MHz-1500MHz), exactamente a una frecuencia de IF de 1350MHz que es la que reciben señal los receptores. Tienen un valor característico de temperatura en 17 °K que sirve para calcular la relación

Gr/Te. Existen también los LNBF que son alimentadores con LNB incorporado.

El equipo receptor satelital debe ser capaz de demodular la señal recibida en frecuencia intermedia desde el LNB, que puede ser analógica o digital (QPSK), aunque la mayoría de transmisiones en la actualidad son digitales, el costo del receptor depende del servicio que se desee: si se quiere tener una estación satelital para recibir programación abierta de varios satélites, la inversión inicial es elevada, pero el sistema estará a su servicio por largo tiempo sin tener que pagar suscripciones como en el caso de televisión pagada. Es recomendable adquirir un equipo capaz de recibir señales digitales DVB (IRD Integrated Receiver Decoder), pues la mayoría de canales están en ese estándar.

En lo relacionado a cables, la calidad de estos influye en el rendimiento de la estación mientras mayor sea la distancia entre la antena y los receptores se deberá utilizar un cable con menor atenuación. Los más utilizados son: el RG 11 que tiene una impedancia característica de 75 ohmios con una atenuación de 4.2 dB por cada 30 m en UHF, otro es el RG 8 de 50 ohmios con una atenuación de 4.2 dB por cada 30 metros en UHF. También se puede utilizar otros cables con mayor atenuación pero

mas económicos como es el caso del RG-59 de 75 ohmios y 7 dB de atenuación por cada 30 m en UHF. Otros accesorios importantes son los Power Divider o Splitters, que sirven para conectar dos o mas salidas a partir de una señal de entrada.

Cabe señalar que, el numero de salidas del divisor aumenta la atenuación de la señal en cada salida, si se divide en dos, la atenuación será de 3 dB es decir la mitad de la amplitud de la señal. Y así sucesivamente si el divisor tiene mas salidas. Los conmutadores permiten cambiar de polarización o de banda de recepción y son utilizados cuando se tiene varios LNB conectados ya sea dos para banda C (V/H) o banda Ku (V/H)

CAPÍTULO 4

4. CASO DE ESTUDIO: LA ANTENA PARABOLICA DE LA FIEC

4.1. DATOS Y UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN

La antena parabólica de la FIEC se encuentra sobre la terraza del bloque de laboratorios, el cual posee dos plantas, la altura de la terraza con respecto al piso es de 8 metros aproximadamente. Utilizando un equipo de GPS (Sistema de Posicionamiento Global) se determino las coordenadas de ubicación de la antena y dado que esta se encuentra sobre el Laboratorio de Telecomunicaciones son las coordenadas de la estación satelital:

Latitud Sur 2° 8' 45.3"

Longitud Oeste 79° 58' 0.0"

La precisión del GPS utilizado es de mucha importancia debido a que pueden existir diferencias al momento de orientar una antena. También se determinó la altura de la antena con relación al nivel del mar la cual es 283 ft o 87.62 metros, lo cual corresponde a la situación del campus politécnico, que se encuentra ubicado sobre colinas en el sector de la Prosperina.

La estación de recepción satelital esta compuesta de la antena parabólica y sus componentes como: el alimentador, los LNB's, motor de posicionamiento. El cableado, que debe ser adecuado para la transmisión de señales de frecuencia intermedia 1.3GHz, receptores de televisión satelital y posicionador automático. Pero, a continuación explicaremos lo que se tuvo que hacer para la implementación de esta estación de recepción de televisión satelital, específicamente la reparación de la antena.

4.2. DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN DE LA ANTENA PREVIO A SU REPARACIÓN

La antena parabólica de la FIEC fue implementada por los alumnos de un Tópico de Graduación en el año 1996 , pero dicha antena tenía inconvenientes de tipo mecánico desde su construcción. Diseñada

para girar hasta un máximo de 90 grados los controles electrónicos, el motor posicionador y el brazo hidráulico no estuvieron calibrados adecuadamente.

Este conjunto de eventos incluyendo la falta de mantenimiento durante varios años, conllevaron a la no operabilidad de dicha antena, desaprovechando las ventajas que su adecuado uso daría, además, consideramos que no sería justo que la facultad continúe poseyendo un costoso bien sin obtener beneficios reales.

4.2.1. PROBLEMAS DE DISEÑO MECÁNICO

El sistema está conformado por un tambor central, al cual están acopladas 8 costillas, que son estructuras metálicas construidas especialmente como una sección de una parábola, es decir que el conjunto es utilizado para construir un paraboloide, la superficie es construida utilizando mallas metálicas, el diámetro de los orificios es determinado para permitir el paso del aire para que la resistencia al mismo no produzca momentos de torsión que puedan destruir al sistema, además como se menciona en el capítulo 2 esos orificios deben tener un diámetro menor a un décimo de la longitud de

onda de la señal que se quiere captar o un décimo de la longitud de onda promedio en la banda de operación.

El principal problema encontrado fue el de los límites de giro, pues el diseño original poseía platinas para evitar que la antena exceda los 90° .

4.2.2. SITUACIÓN DEL RECEPTOR SATELITAL

En la antigua estación de recepción satelital existía solo un receptor de televisión satelital, analógico marca UNIDEN. Este equipo poseía adicionalmente un posicionador de antena parabólica que enviaba el voltaje necesario para que el brazo hidráulico trabajara y adicionalmente tenía un circuito para cambiar la polarización de la antena. El primer problema de este receptor es que era analógico, y trabajaba solo en formato PAL, que era utilizado en Europa y con otras variaciones en Brasil y Argentina. Por lo que no se podían recibir canales en formato NTSC.

Adicionalmente la tendencia tecnológica era y es la digitalización de esas señales, por lo que en los actuales

momentos ese receptor tiene poca utilidad. Inclusive estaba diseñado solo para trabajar en banda C, a pesar de que en el futuro, las transmisiones de televisión satelital serán mayormente realizadas a través de banda Ku, Los receptores modernos permiten la recepción de varios y estándares y bandas utilizando el mismo equipo. Al no ser previstos los cambios que ocurrirían en las técnicas de transmisión de televisión satelital desde aquel entonces (1996), el receptor obviamente debería ser cambiado como en nuestra tesis lo hemos hecho debido a su obsolescencia.

4.2.3. SITUACIÓN DEL BRAZO HIDRÁULICO Y DEL MOTOR

En la operación del sistema, este fue llevado hasta el límite Este sin controlar su posición, por lo que se forzó al sistema, en el caso del brazo hidráulico, el pistón móvil estaba fuera de su adecuada posición, sin el mantenimiento adecuado, sufrió de corrosión, lo que impidió su funcionamiento, en el momento del desmontaje de la anterior configuración, el brazo hidráulico no servía. En el caso del motor, este también sufrió los efectos de la intemperie, por lo que el sistema interno de control de los

limites estaba descalibrado, y con los cables de control desconectados. Internamente el motor funciona pero necesita cambio de carbones para que su desempeño sea adecuado.

Para los nuevos requerimientos, este motor no era el adecuado, el objetivo era la renovación del sistema de movilización, por lo que el motor antiguo fue utilizado para probar la interfase de posicionamiento de la que hablaremos en el capítulo 5.



Figura 4-1 Antena de la FIEC con el antiguo sistema de movilización

4.2.4. SITUACIÓN DEL ALIMENTADOR Y EL CABLEADO DE LA ESTACIÓN

En cuanto al cableado de la estación, este no fue correctamente realizado, debido a que se utilizó el tubo de desfogue de aguas lluvias de la terraza de los laboratorios

para pasar los cables hasta el Laboratorio de Radiofrecuencia, a cuya altura perforaron dicho tubo para sacar los cables que entraban por la parte superior de las ventanas de dicho laboratorio. A pesar de que se quiso preservar la estética del edificio, se paso los cables por un lugar inadecuado en el que la humedad terminó disminuyendo la vida útil de los mismos, de hecho, como lo explicaremos posteriormente, esos cables y su canalización fueron reemplazados en su totalidad.

En cuanto al alimentador de la antena de la FIEC estaba completamente deteriorado por falta de mantenimiento, el motor para cambiar la polaridad de la señal recibida (polarizador) estaba dañado y la cavidad llena de avisperos. Como solo tenia capacidad para recibir banda C. Uno de los aspectos que consideramos mejorar fue la recepción de banda C y banda Ku en ambas polarizaciones para aumentar la capacidad de la estación para recibir la mayor cantidad de canales posible e inclusive preparando al sistema de recepción para los cambios a futuro, de esta forma darle una mayor utilidad al sistema a ser implementado.

4.3. REDISEÑO DE LA ANTENA PARABÓLICA DE LA FIEC

Dentro de los aspectos a considerar para el rediseño de la antena parabólica de la FIEC estaban el cambio del rango de giro de la antena ya que solo se podían captar satélites girando la antena hasta 90°, también se debió cambiar la forma en que se fijaba el punto focal, nuevo cableado, nuevo motor posicionador, nuevos receptores, amplificadores de bajo ruido (LNB's), nuevo alimentador y todos los detalles para que funcione correctamente.

4.3.1. SUPERFICIE REFLECTORA

En la evaluación realizada, nos dimos cuenta que la superficie en sí no requería cambios en el sentido estricto de su diseño, a pesar de que no haya recibido el mantenimiento adecuado el material que la constituye no estaba oxidado, por lo que se requirió un mantenimiento de dicha superficie.

Para ese fin, se realizó la limpieza de la misma con agua a presión para eliminar el polvo acumulado, y los avisperos. Luego de los cambios necesarios en cuanto a la movilización, se la pintó utilizando esmalte anticorrosivo que fue aplicado

utilizando un compresor, de manera que la pintura se disperse completamente sobre todos los rincones de la superficie, para protegerla de la intemperie y evitar los efectos de la corrosión.



Figura 4-2 Limpieza y mantenimiento de la superficie reflectora

La antena parabólica de la FIEC es un sistema parabólico de foco primario por lo que el alimentador y los LNB se encuentran ubicados en el foco de dicho sistema. Observamos que la varilla metálica que sostenía al foco del paraboloide estaba agarrada a los extremos de la superficie solo con unos alambres oxidados y amarrados, lo que cambiamos con el uso de los accesorios adecuados como lo muestra la figura 4-3



Figura 4-3 Uso de herrajes para asegurar el foco del paraboloide

Luego del mantenimiento, el sistema parabólico en si mantuvo su ganancia y su relación f/D procediendo con los cálculos como se mostró en el capítulo 2 sección 2.8 , el diámetro de la antena es: 4.8 m , la distancia focal es de: 1.9m, una eficiencia del sistema de 55%, relación foco sobre diámetro de .40 que se encuentra dentro del rango establecido en la inecuación 2-11, banda de operación determinada con datos de la tabla 1-3 que va desde la frecuencia baja de la banda C (4GHz) a la frecuencia alta de la banda Ku(18GHz) frecuencia promedio de: 11GHz , y longitud de onda promedio de 2.73 cm, se calculó la ganancia del sistema de acuerdo a la fórmula 2-12 que fue de 52.25 dB, también se calculó la directividad del sistema utilizando la ecuación 1-27 que fue de: 54.85 dB. Luego de los cálculos anteriores y por medio de la ecuación 2-15 se determinó también los ángulos de media potencia que

son iguales y cuyo valor es: 0.37° . Utilizando la ecuación 2-5 se obtuvo el valor de la profundidad del paraboloide c igual a : 76 cm.

4.3.2. CAMBIO DE CARACTERÍSTICA DE GIRO HASTA 180°

El cambio de la característica de giro de la antena anterior que iba desde 0 a 90° hasta la nueva desde 0° hasta 180° requirió de un proceso en el que se tuvo que desoldar los componentes mecánicos de la configuración anterior, como lo eran el soporte del brazo hidráulico como se muestra en la figura 4-4 y el tope mecánico de los 90° . Debido al grosor del metal y las modificaciones que se debieron realizar se utilizó un equipo de soldadura autógena que es capaz de realizar cortes de laminas metálicas de gran espesor con mayor rapidez; también se utilizó soldadura eléctrica para fijar los nuevos componentes metálicos.



Figura 4-4 Retiro del brazo hidráulico de la anterior configuración para posicionamiento de la antena

El primer paso fue sacar el brazo hidráulico fundiendo los pernos que lo sujetaban con soldadura autógena debido a que estaban oxidados. Al quitar el brazo, la antena fue dejada totalmente orientada al límite Este 0° , donde se procedió al corte del tope mecánico de 90° y otras piezas metálicas que no realizarían ninguna función en la nueva configuración. Después de aquello se cambió la posición de los soportes (orejas) que soportarían al nuevo eje de rotación, cabe destacar que la dimensión de aquellas en la antigua configuración era menor, lo que impedía el giro completo de la estructura y el emplazamiento de los nuevos componentes.

Después de esto se soldaron varias barras de metal para sostener la estructura con la superficie orientada hacia el cenit es decir 90° .



Figura 4-5 La antena de la FIEC quedó embancada para colocar los nuevos elementos para posicionamiento.

Luego de esto la antena estaba lista para colocar los nuevos elementos de posicionamiento, que son la cremallera y la caja de cambio o reducción de velocidad a la que se conecta el motor de posicionamiento, y que contiene micro-interruptores para establecer los límites Este y Oeste en el caso mecánico.

4.3.2.1. CREMALLERA

Una vez que la antena fue embancada, se colocó una barra de metal soldada al tambor al que están acopladas las costillas de la antena y a un lado del soporte de la

misma. La cremallera consiste de una sección de una tubería metálica que se corta para lograr una sección circular casi perfecta, dado que doblar una barra metálica daría un pobre resultado. Dicha sección se soldó a la barra metálica mencionada previamente, luego se colocó una cadena sobre el arco amarrándola a la barra metálica con los pernos que dicha cadena posee y estirándola para obtener una tensión adecuada para que pueda ser empujada por el engrane del reductor de velocidad. La cremallera y el reductor de velocidad se muestran en la figura 4-6.



Figura 4-6 Colocación de la Cremallera y el reductor de velocidad para que la antena gire de 0° hasta 180°

El reductor de velocidad se coloca en una especie de caja metálica que para pruebas se soldó al soporte de la

antena, pero luego de las pruebas, se desoldó dicha caja para ubicar otro elemento necesario.

Durante las pruebas, se comprobó que la cremallera este bien centrada y que la cadena este bien estirada, por lo que se debió realizar este procedimiento varias veces. Al final notamos que el elemento que no se menciona anteriormente era necesario para mantener el equilibrio de la estructura y que el reductor de velocidad no podía ir soldada al soporte de la antena, sino que debía quedar libre pero sostenido al eje, lo que implicó que dicho reductor se suelde al soporte en el que se calibra el ángulo de Inclinación. De esta manera la estructura se podría mantener equilibrada con el uso del siguiente elemento del sistema.

4.3.2.2. CONTRAPESO

En efecto, se necesito de un contrapeso para evitar que el peso de la cremallera, el reductor de velocidad y las barras metálicas que los soportan provoquen que la estructura se averíe, que el motor no pueda hacerla girar

y como caso extremo provocar que el plato parabólico se caiga y provoque graves daños dado que esta estructura se encuentra a una altura de aproximadamente 8 metros del piso y el edificio cerca de un paso muy concurrido por estudiantes. Previendo esto, se utilizó un disco de plomo como contrapeso que es sostenido por un par de barras metálicas que están soldadas en el tambor que sostiene las costillas de la antena y al extremo opuesto de la cremallera como se muestra en la figura 4-7



Figura 4-7 Contrapeso y Cremallera permiten que la estructura este balanceada y trabaje de manera segura

Para que el sistema trabaje adecuadamente, debe recibir un mantenimiento cada cuatro meses como lo especificamos en el Manual de Mantenimiento que se anexa a esta Tesis, se debe utilizar lubricantes como el spray WD-40 y grasa para permitir que los engranes del reductor de velocidad y la cremallera en sí trabajen sin los problemas de la fricción e inclusive por los problemas de la oxidación de estos componentes metálicos. El contrapeso es un elemento de mucha utilidad y ampliamente utilizado para mantener el equilibrio mecánico de las antenas y evitar momentos de torsión que provoquen un excesivo trabajo del motor posicionador y disminuir la vida útil del sistema.

4.3.2.3. CRITERIO DE SELECCIÓN DE CABLES Y CONECTORES

En el sub capítulo 4.2.4 se explicó la situación del cableado de la estación, por lo que para corregir esto se tuvo que disponer todos los cables usados en la antigua configuración, es decir, se los desechó, pues, al estar expuestos a un ambiente agresivo tanto tiempo y sin

mantenimiento, perdieron sus principales características de atenuación por distancia e impedancia característica. El cable que se utilizó es de 75 ohmios de impedancia característica, pero, de mayor calibre comparado con el cable RG-59 que se usó previamente en la primera implementación, el nuevo cable es del tipo RG-11 especial para instalaciones en estaciones satelitales. En el caso de los conectores se usaron conectores tipo F para cable RG-11, sabiendo que para cada tipo de cable existe un conector adecuado con relación a su calibre. No se usó el conector BNC debido a que los conectores hembra que poseen los LNB, los receptores y los conmutadores de señal son tipo F también. El conector debe ser bien colocado dado que un mal contacto entre la espiga del cable y la del conector producirá pérdidas que influirán en la calidad de la señal recibida pudiendo incluso atenuarla totalmente.

En el caso del cableado, este se encaminó utilizando canaletas metálicas en la terraza para evitar que los cables yacían sobre el piso de la terraza, y que la

humedad no los afecte, también se instaló una tubería de PVC de 4 pulgadas por la que se pasaron los cuatro cables RG-11 y los cuatro cables que conectan al posicionador con el motor de la antena, adicionalmente se dejó una curvatura a la entrada de los cables para evitar que el agua entre a la tubería como se muestra en la figura 4-8 y que no ocurra lo mismo que en la implementación anterior hecha en 1996.



Figura 4-8 Cableado de la estación en la terraza de los Laboratorios, nueva ductería y canaletas.

De esta manera, se logró uno de los objetivos de la nueva implementación y se resolvió un problema que hubiera afectado y menoscabado la vida útil de la estación de recepción de televisión satelital de la FIEC.

4.4. SELECCIÓN DEL NUEVO ALIMENTADOR

El nuevo alimentador (feeder) se seleccionó para lograr recibir señales en banda C tanto en polarización horizontal como vertical y también en banda Ku tanto en polarización vertical como horizontal. Como se mencionó anteriormente, el alimentador que tenía la estación solo poseía dos aperturas para la ubicación de dos LNB uno para banda C y otro para banda Ku y el cambio de polarización se daba con un pequeño motor que era activado por el receptor. Este presentaba un inconveniente, si se dañara uno de los LNB, se perdería la recepción de toda una banda, lo conveniente sería que si se daña un LNB solo se pierda una polaridad de recepción y no toda una banda. Uno de los objetivos de la implementación de este proyecto de tesis es el empleo del mismo para una aplicación en el Laboratorio de Telecomunicaciones de manera didáctica para que los estudiantes puedan seleccionar la banda y la polarización inclusive utilizando dos receptores al mismo tiempo en el mismo satélite pero recibiendo en polaridades diferentes o bandas diferentes sin que eso dependa del cambio de canales en uno de los receptores como en la implementación realizada anteriormente.

Seleccionamos un alimentador de 4 bocas o ranuras de marca Chaparral modelo Bullseye II diseñada para trabajar en banda C (3.7-4.2 GHz) y banda Ku (11.7-12.75GHz), al que se pueden incorporar 4 LNB uno para banda C vertical, otro para banda C horizontal, otro para banda Ku vertical y el ultimo para banda Ku horizontal; se muestra este alimentador en la figura 4-9. Entre los parámetros de importancia se debe resaltar que este alimentador posee aislamiento para polarización cruzada en banda C de 18 dB y para banda Ku de 25 dB y una relacion de onda estacionaria VSWR de: 1.6 a 1 para banda C y de 1.4 a 1 para banda Ku.

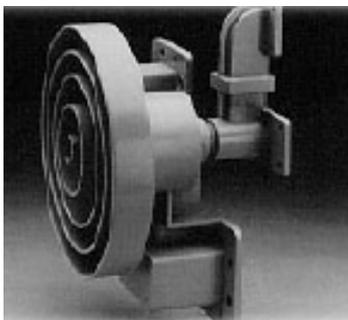


Figura 4-9 Alimentador marca Chaparral modelo Bullseye II seleccionado para nuestra implementación.

Este debe colocarse en el foco del sistema parabólico, que como hemos mencionado es de foco primario. En sí, el alimentador es una guía de onda, que recoge las señales reflejadas por la superficie

parabólica como se lo demostró en el capítulo 2, El final de esa guía de onda se encuentran las 4 ranuras para conectar los amplificadores y a la entrada se encuentra una superficie corrugada que ayuda a que la energía se concentre en el centro de la guía de onda y sea aprovechada con mínimas pérdidas. La figura 4-10 muestra el alimentador de la antena parabólica de la FIEC ya instalado.



Figura 4-10 Alimentador (feeder) de cuatro bocas para recepción en banda C V/H y Ku V/H, ya instalado en la antena

4.5. SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE LOS LNB

Los LNB deben ser seleccionados para la frecuencia de recepción es decir que se debe utilizar LNB para banda C tanto para polaridad V como H y LNB para banda Ku tanto para polaridad V como H. Los LNB para la estación son marca Astrotel y con una temperatura de ruido se 17 °K valor de temperatura que se utiliza para el calculo dela figura de mérito de la estación G/T.

Los LNB se instalaron en el alimentador que posee cuatro bocas a los cuales se instala, y entre los cuales existe un empaque de caucho en los bordes, lo que impide el ingreso de la humedad al alimentador, lo que provocaría pérdidas por atenuación de la señal. Los LNB poseen unos conectores F hembra a los cuales se conectan los cables que poseen conectores F macho para cable RG-11, de 75 ohmios de impedancia característica, una vez acoplados se protegen con cinta auto fundente que tiene la propiedad de que cada capa de cinta se une con la otra formando una sola capa protectora que impide que la humedad ingrese a los conectores, luego se sella con una capa adicional de cinta aislante para mayor protección. A continuación en la figura 4-11 mostramos el momento de la instalación de los LNB en el alimentador de la antena parabólica de la FIEC.



Figura 4-11 Instalación de los LNB en el alimentador de la antena parabólica.

Una vez instalado el alimentador y los LNB en la antena solo era necesario realizar los ajustes para recepción de señal, se dejaron 30

metros de cables para cada polaridad desde los LNB hasta los equipos en el Laboratorio de Telecomunicaciones de manera que se pudiera mover la mesa de trabajo a cualquier parte del mismo.

4.6. AJUSTES NECESARIOS PARA LA OPERACIÓN DE LA ANTENA PARABÓLICA

Antes de bajar los cable por la ducteria, fue necesario realizar los ajustes correspondientes a la antena para la recepción, obviamente luego de los cambios mecánicos realizados, la antena estaba mal apuntada hacia la órbita geoestacionaria, por lo que primero se realizó un ajuste en acimut que es igual a 90° medidos desde el norte hacia el este y en inclinación dado que nuestra ubicación es 2.14592° latitud sur y la orbita geoestacionaria se encuentra sobre el ecuador es decir 0° latitud. Luego se realizo la prueba para captar un satélite variando la elevación, este fue Brasilsat 1 a 70° W para lo cual se utilizó el inclinómetro que es un dispositivo que sirve para medir el ángulo al que se encuentra orientada una antena con respecto la vertical.

Para el apuntamiento de la antena en elevación se deben tomar en cuenta ciertos aspectos, en si la tierra no es plana, sino esférica por lo tanto la determinación del ángulo que debemos obtener en el

inclinómetro es un poco más complejo, como lo muestra la figura 4-12.

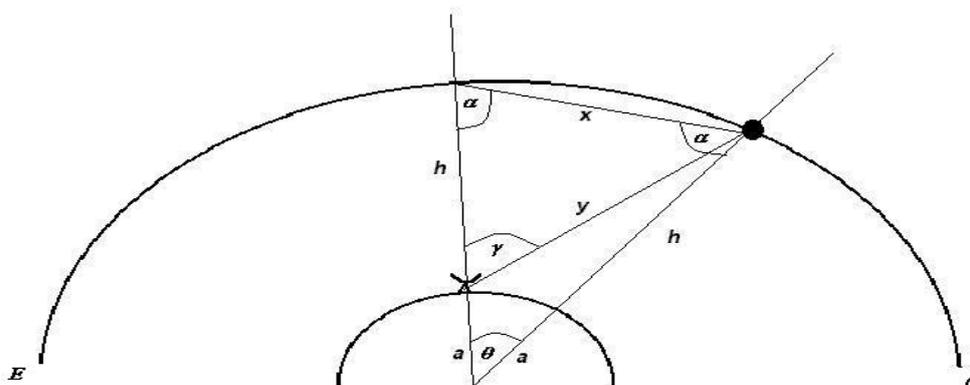


Figura 4-12 Apuntamiento en elevación

El ángulo theta es la diferencia entre la ubicación del satélite y nuestra posición por ejemplo si quiere orientar la antena a Satmex 5 que se encuentra a 116.8° y nuestra posición es 79 grados la diferencia entre esos dos valores es el ángulo theta. Como tenemos un triángulo con dos lados iguales y uno desigual los ángulos alfa son iguales y su suma mas theta es igual a 180° , luego determinamos X usando la ley del coseno. Luego calculamos Y usando la ley del coseno en el triángulo hxy y por la ley del seno se despeja el seno de gamma luego del despeje respectivo se obtiene gamma que es el ángulo que se lee en el inclinómetro con respecto a la vertical. A continuación ilustramos las ecuaciones que permiten calcular los

valores citados. Es necesario anotar que a es el radio de la tierra y h es la altura de la orbita geoestacionaria con respecto al nivel del mar.

$$x^2 = (a + h)^2 * 2 * (1 - \cos \theta) \quad 4-1$$

$$y^2 = h^2 + x^2 - 2 * h * x * \cos \alpha \quad 4-2$$

$$\alpha = \frac{180 - \theta}{2} \quad 4-3$$

$$\gamma = \arcsen\left(\frac{x * \text{sen} \alpha}{y}\right) \quad 4-4$$

$$a = 6378 \text{Km}$$

$$h = 35779 \text{Km}$$

Para el ajuste se utilizó el receptor analógico Drake que posee salidas para el posicionador, luego de recibir la máxima potencia se grabo la ubicación de este satélite y se procedió a buscar otro Satmex 5 ubicado a 116.8° W, al recibir señal en este otro satélite se grabó su ubicación y se regresó a Brasilsat 1 para ver si los ajustes realizados en Satmex 5 no cambiaron el ángulo al que apuntaba la antena. Es necesario anotar que este no es un proceso rápido y hay que ajustar con mucha precisión dado que las antenas parabólicas grandes poseen ángulos de apertura de haz muy pequeños y dado que la distancia a la que se ubican los satélites es de aproximadamente 35779 Km. Se vuelve muy difícil la calibración. Una vez que estos dos satélites se captaban sin mayores problemas se procedió a busca otro Panamsat 9 a 58° W, al captarse la señal de este satélite con

máxima potencia se logró ajustar a la antena hacia la orbita geoestacionaria por lo que la búsqueda de nuevos satélites solo dependería de que su huella este sobre nuestro país y en ajustar el ángulo de elevación correspondiente, así se pueden captar nuevos satélites sin necesidad de realizar otros ajustes.

4.7. NUEVAS CONDICIONES DE LA ANTENA DE LA FIEC, Y SU MOVILIDAD

Una vez realizados los últimos ajustes para captar los satélites mencionaremos las nuevas características de la antena, a diferencia de la implementación de 1996, la antena parabólica de la FIEC posee un nuevo rango de giro, teóricamente de 0 hasta 180°, pero dado que existen satélites desde los 20° vistos desde el horizonte al Este, y el mismo valor hacia el Oeste, el rango útil de giro es de 140° por lo que se deberá seleccionar un inclinómetro de +70° hasta -70° para desarrollar el posicionador automático. En la figura 4-12 se ve el motor acoplado al reductor de velocidad que mueve la cremallera, el motor tiene 4 terminales para el posicionamiento y los límites mecánicos que están establecidos dentro del reductor de velocidad, lo que evitara que la antena sea desplazada fuera de los límites y el sistema se dañe.



Figura 4-13 Motor de posicionamiento acoplado al reductor de velocidad.

En la figura 4-13 apreciamos el sistema de posicionamiento completo motor, cremallera y reductor de velocidad, también se aprecia el contrapeso que como se mencionó equilibra la carga para que el motor no tenga un mayor esfuerzo para mover la antena, también se aprecia que la antena esta pintada y protegida contra la corrosión, los cables del posicionador de encuentran protegidos de la intemperie por una manguera que llega hasta la ducteria que se mostró en la figura 4-8 siempre en procura de alargar la vida útil de la antena y los equipos.



Figura 4-14 Sistema de posicionamiento completo

A continuación mostramos una foto de la antena parabólica de la FIEC vista completamente, y funcionando cabalmente para la recepción de señales de televisión satelital y para uso y provecho de la Facultad y los estudiantes del Laboratorio de Telecomunicaciones.



Figura 4-15 Vista completa de la Antena parabólica de la FIEC

En el Laboratorio de Telecomunicaciones se utilizó una de las mesas de trabajos para ubicar los receptores nuevos que son uno digital marca Precisión que recibe señales en banda C y Ku bajo el estándar DVB-S y un receptor analógico marca Drake que recibe señales analógicas en formatos NTSC y PAL tanto en banda C y Ku, adicionalmente se compro un televisor LG multiformato capaz de abrir señales en formato NTSC y PAL para poder recibir todo tipo de señales analógicas. En la mesa de trabajo se utilizan splitters o divisores de señal, y conmutadores para seleccionar el tipo de

polaridad de la señal. Mostramos una vista de los receptores en la mesa de trabajo en la figura 4-15.



Figura 4-16 Vista de los receptores y componentes de la mesa de trabajo

Pero la implementación no es completa sin el diseño de un posicionador automático controlado por computadora para lo que dedicaremos el siguiente capítulo.

CAPITULO 5

5. INTERFASE Y SOFTWARE PARA POSICIONAMIENTO AUTOMATICO DE LA ANTENA DE LA FIEC

5.1. MOTORES DE PASO

Los motores de paso representan precisión para el posicionamiento y control de velocidad sin el uso de sensores de realimentación. La operación básica de un motor de paso permite al eje moverse un número preciso de grados cada vez que un pulso eléctrico es enviado al motor. Controlando el número de pulsos que se envían al motor y su frecuencia es posible controlar la cantidad de grados que debe girar el eje y su velocidad. Existen dos variedades de motores de

paso, los de magneto permanente y los de reluctancia variable, ambas clases pueden ser distinguidas utilizando un ohmetro, los motores de reluctancia variable tienen tres o cuatro bobinas con un retorno común, mientras que los de magneto permanente tienen usualmente dos bobinas independientes con o sin toma central. Un motor de reluctancia variable tiene tres bobinas y una conexión común se muestra en la figura 5-1, regularmente el terminal común se conecta a la alimentación positiva, y las bobinas se energizan en secuencia.

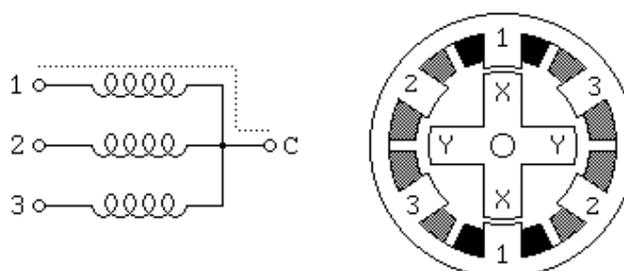


Figura 5-1 Motor de Reluctancia Variable

La sección mostrada en la figura anterior es de un motor de reluctancia variable de treinta grados por paso debido a que tiene 4 dientes en el rotor y 6 polos en el estator. La conexión de las bobinas en los motores unipolares mostrada en la figura 5-2 es similar a la de los de magneto permanente e híbridos, dichas bobinas poseen tomas centrales en cada una de las dos bobinas. Las tomas

centrales se conectan a la alimentación positiva y cada terminal extremo de la bobina se conecta a tierra alternativamente para invertir la dirección del campo provista por esa bobina.

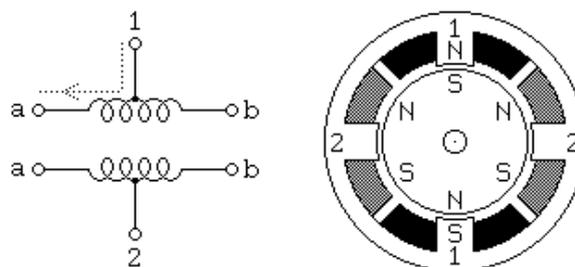


Figura 5-2 Motor de Paso Unipolar

Para mayor resolución angular el rotor debe tener proporcionalmente mas polos. Motores con tamaños de paso de 30, 15 y 7.5 grados son ampliamente disponibles. Motores de magneto permanente con tamaño de paso de 1.8 grados son también construidos. Los motores híbridos tienen tamaños de paso de 3.6 y 1.8 grados con resoluciones de 0.72 grados por paso.

Los motores bipolares son construidos de la misma forma que los unipolares, pero las dos bobinas son cableadas simplemente, sin tomas centrales, así el motor es mas simple pero, la circuitería requerida para cambiar la polaridad de los polos del motor es mas compleja. La figura 5-3 muestra la diferencia en el cableado de las

bobinas pero la sección del motor es la misma. Para manejar cada bobina se requiere un circuito denominado puente H.

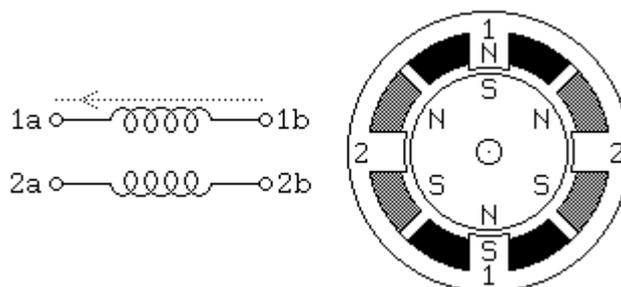


Figura 5-3 Motor Bipolar

5.2. CIRCUITOS DE MANEJO PARA MOTORES DC

La circuitería que sirve para el manejo de las bobinas del motor de pasos bipolar es la que se utiliza para un motor DC común para hacer que gire en un sentido o en otro. Esto se logra con el denominado puente H mostrado en la figura 5-4.

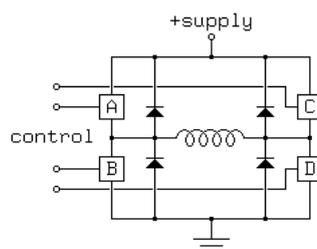


Figura 5-4 Esquema del Puente H

Los conmutadores usados en los puentes H deben ser protegidos de los impulsos de voltaje causados por apagar la energía que alimenta el bobinado del motor. Esto se hace usualmente con diodos como se

mostró en la figura 5-6. Es necesario aclarar que los puentes H son aplicables tanto al control de motores de paso bipolares, como de motores DC, y otras aplicaciones. Con 4 conmutadores, el puente H básico ofrece 16 modos posibles de operación, 7 de los cuales cortan el suministro de energía de la fuente, por lo que explicaremos los modos que son de interés:

El Modo adelante es implementado activando los conmutadores A y D mientras que el modo reversa se logra activando los conmutadores B y C, estos son los modos usuales de operación, que permite a la corriente fluir desde la fuente de poder, a través del bobinado de motor hacia tierra. La figura 5-5 ilustra el modo adelante:

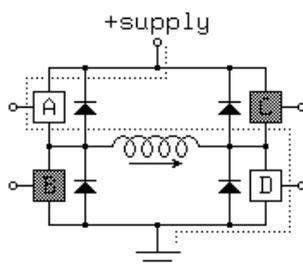


Figura 5-5 Modo Adelante en el Puente H

En el modo de decaimiento rápido cualquier corriente fluyendo a través del bobinado del motor estará trabajando contra el voltaje completo de alimentación, mas dos diodos apagados, así, la corriente

decaerá rápidamente. Este modo provee un pequeño efecto de frenado dinámico en el rotor del motor. La figura 5-8 ilustra el flujo de corriente inmediatamente después de conmutar desde el modo adelante al modo de decaimiento rápido.

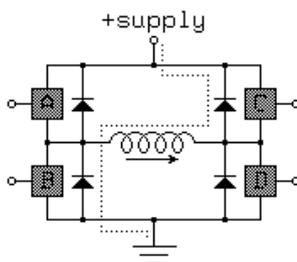


Figura 5-6 Decaimiento Rápido

En los modos de frenado dinámico la corriente puede recircular a través del bobinado de motor con mínima resistencia. Como resultado, si la corriente está fluyendo en un bobinado del motor cuando uno de estos modos es introducido, la corriente decaerá lentamente y si el motor está girando, se inducirá una corriente que actuará como freno para el rotor. La figura 5-7 ilustra uno de los muy útiles modos de decaimiento lento, con el conmutador D cerrado; si el bobinado del motor estuvo recientemente en modo adelante como modo de funcionamiento, el estado del conmutador B puede ser ambos: abierto o cerrado.

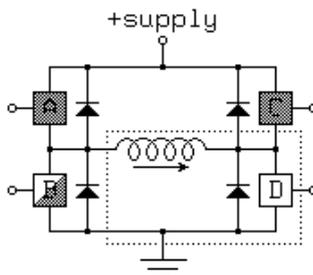


Figura 5-7 Modo Decaimiento lento o Frenado Dinámico

Muchos puentes-H están diseñados con la lógica necesaria para prevenir un cortocircuito y esta es de un muy bajo nivel en el diseño.

La figura 5-8 ilustra cual es probablemente el mejor arreglo.

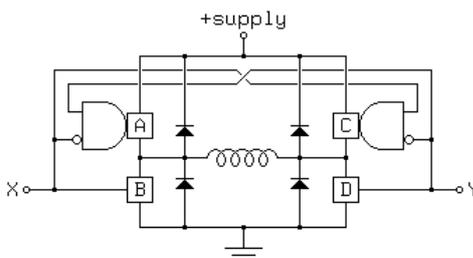


Figura 5-8 Control del Puentes H con dos bits (x,y).

A continuación en la Tabla 5.1 se muestran los modos de operación de los puentes H:

XY	ABCD	Modo
00	0000	Dec. Rápido
01	1001	Adelante
10	0110	Atrás
11	0101	Dec. Lento

Tabla 5.1 Modos de Operación del Puentes H controlado con 4 y 2 bits.

La ventaja de este arreglo es que toda la utilidad de los modos de operación es preservada, y son encodificados con un mínimo número de bits; lo último es importante cuando utilizamos un microcontrolador o sistema de cómputo para manejar a los puentes H debido a que muchos de esos sistemas tienen solo un número limitado de bits disponible para salida paralela.

5.3. LA INTERFASE DE COMUNICACIÓN SERIAL DEL COMPUTADOR

El puerto serial fue creado con el propósito de contar con una interfase entre los equipos terminales de datos y el equipo de comunicación empleando intercambio serial de datos binarios. El estándar RS-232 fue originalmente adoptado en 1960 por la EIA (Asociación de Industrias Electrónicas de los Estados Unidos). El estándar evolucionó a través de los años y en 1969 se realizó la tercera revisión RS-232C que fue elegida por los fabricantes de computadoras personales. En 1983 se adoptó la cuarta revisión RS-232D también conocida como EIA-232D al que se agregan tres líneas de pruebas.

RS-232 especifica una velocidad máxima de transmisión de 19200 baudios y una longitud máxima de 16 metros, luego emergieron RS-

422 y RS-485 que utilizan líneas balanceadas para eliminar problemas de transmisión a altas velocidades o largas distancias.

Actualmente RS-232 utiliza los conectores DB-25, DB-15 y DB-9, siendo este último, el más usado debido a que posee los 9 pines que se requieren para comunicación asincrónica. Existen dos tipos de comunicación la sincrónica y la asincrónica. La comunicación sincrónica se caracteriza porque los pulsos de sincronización deben ser transmitidos a lo largo de la línea de comunicación entre el transmisor y el receptor. Dentro de los varios tipos de comunicación serial sincrónica vamos a notar el protocolo I²C ó de dos hilos y el protocolo SPI ó de tres hilos, los dispositivos se encuentran conectados durante todo el tiempo y se transmite una señal de sincronía o reloj para que la comunicación se realice sincronizadamente. En el caso de la comunicación asincrónica la transmisión se da por medio de caracteres ASCII es decir mediante bytes a los cuales se agregan bits de inicio de parada y de paridad para detectar el inicio del carácter transmitido, el fin de la transmisión de ese carácter y los errores mediante paridad respectivamente.

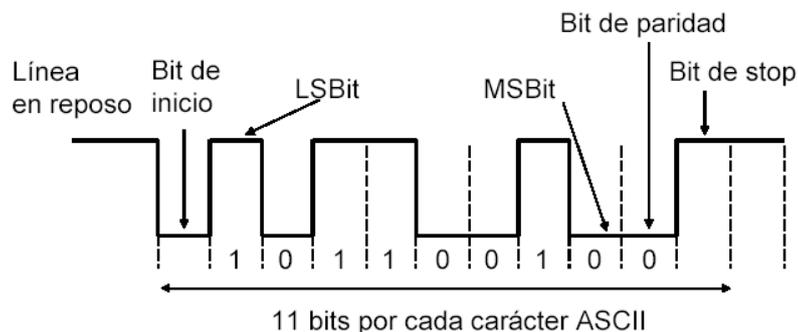


Figura 5-9 Transmisión de un carácter por el puerto serial y de manera asincrónica

Como se observa en la figura 5- el bit de inicio es el que se transmite primero luego comienza la transmisión de bit menos significativo LSB luego el resto de bits del carácter hasta el bit más significativo MSB luego sigue el bit de paridad y finalmente el de parada.

5.4. MICROCONTROLADORES

En la actualidad siempre a la hora de diseñar una solución por medio de un circuito electrónico, la mejor decisión es utilizar elementos digitales dado que regularmente la interacción de estos circuitos (interfaces) se da con características o fenómenos físicos en tiempo real y un computador.

Consideramos conveniente que la precisión del posicionamiento electrónico de la Antena Parabólica de la FIEC este asegurada por un

microcontrolador y la circuitería inherente que permita que un software instalado en un computador envíe las ordenes a los actuadores involucrados en dicho posicionamiento. A continuación realizamos una síntesis de los aspectos mas relevantes de los microcontroladores para la mejor comprensión del desarrollo de la interfase propuesta.

5.4.1. ORIGEN

El origen de los microcontroladores se establece en el año 1971, en el que INTEL construye el primer microprocesador 4004 que tenia un bus de datos de 4 bits y era usado para calculadoras de escritorio debido a que su capacidad de direccionar memoria era de 4K localidades de 4 bits. Luego en 1973 el 8080 que ya utilizaba 8 bits de datos y una capacidad de direccionamiento de memoria de 16 Kbytes. En 1976 surgen las primeras computadoras de un solo chip que se denominaron posteriormente microcontroladores. Dos de los primeros fueron el 8048 de INTEL y el 6805R2 de Motorola. Ya en los años ochenta se produjo una ruptura en la evolución de los microprocesadores que adquirieron mayor capacidad de direccionamiento de grandes volúmenes de memoria (sistemas

informáticos) y los microcontroladores que adquirieron mejores utilidades para intercomunicarse con el mundo físico en tiempo real además de mejor desempeño en ambientes industriales(sistemas mínimos). Ambos dispositivos se basan en una Unidad Central de Proceso (CPU) que coordina la transferencia de información. Desde que es energizada la CPU desarrolla ciclos de instrucción de manera repetitiva, dicho ciclo consta de las etapas descritas en la siguiente figura:



Figura 5-10. Ciclo de instrucción de un microcontrolador

Existen dos arquitecturas para la implementación de una computadora, la Arquitectura Von Newman que utiliza un mismo bus de datos para la información sin discriminar entre datos e instrucciones. En cambio la Arquitectura Harvard se basa en que existe un bus de datos exclusivo para la memoria de programa (pasiva) y otro bus para la memoria de datos (activa). Los microcontroladores usan la arquitectura Harvard lo que les permite direccionar distintos valores de memoria para

el programa que reside en una memoria de solo lectura ROM y para la memoria de datos RAM.

El microcontrolador es un chip que contiene a un microcomputador a la medida de las necesidades del diseñador y dicho computador a su vez esta compuesto de CPU, memoria de programa, memoria de datos, registro de trabajo, registros de control, y otros dispositivos denominados periféricos. Los periféricos son la puerta de enlace entre el mundo físico y el microcomputador. En el pasado estos periféricos se incorporaban como circuitos independientes, pero la mayor escala de integración de los circuitos integrados permite encapsular varios periféricos al gusto del diseñador. Algunos de esos periféricos son: Puertos de entrada y salida digital, convertidores Analógico a Digital, temporizadores con función ya sea para entradas temporizadas o de captura, salidas temporizadas o de comparación y conteo de eventos.

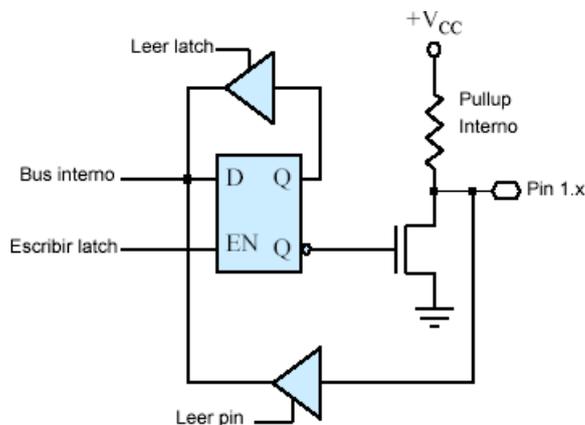


Figura 5-11 Esquema general de un pin que actúa como entrada o salida

También salidas de modulación por ancho de pulso para control de velocidad, dispositivos de vigilancia, controladores de instrucciones, controladores de acceso directo a memoria y acondicionadores del reloj y el reset.

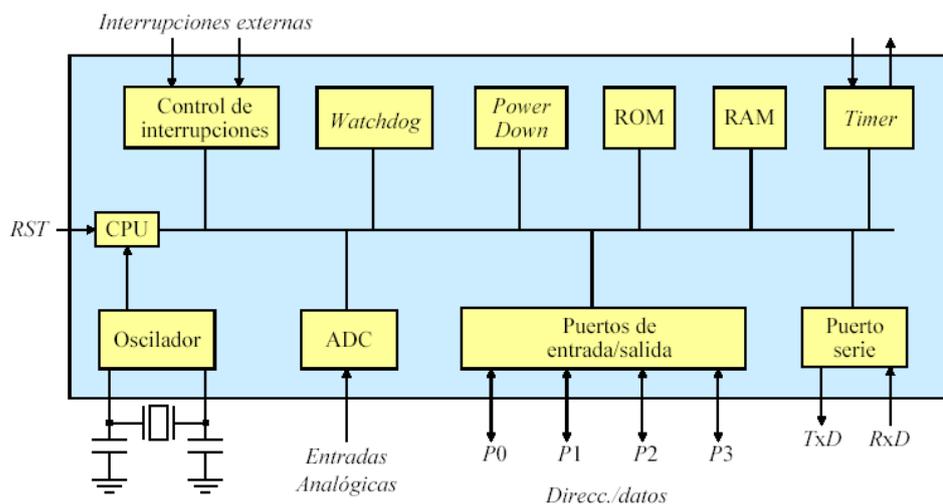


Figura 5-12 Diagrama de bloques de un microcontrolador básico

Es necesario anotar que el surgimiento de los microcontroladores requirió de la implementación de herramientas de desarrollo tales como entrenadores, programadores, emuladores, compiladores, depuradores, simuladores y ensambladores. La combinación de estas herramientas con la variedad de dispositivos permite el diseño de sistemas electrónicos de control realimentado, adquisición de datos, codificación y decodificación, entre otros.

5.4.2. MICROCONTROLADORES DE 8 Y 16 BITS

Existe una gran diversidad de microcontroladores. Quizá la clasificación más importante sea entre microcontroladores de 4, 8, 16 ó 32 bits, y esto se refiere al número de bits de datos que se manejan, el nivel más básico es el de un nibble, luego un byte o sea 8 bits, luego una palabra 16 bits y 32 bits.

Aunque las prestaciones de los microcontroladores de 16 y 32 bits son superiores a los de 4 y 8 bits, la realidad es que los microcontroladores de 8 bits dominan el mercado y los de 4 bits se resisten a desaparecer. La razón de esta tendencia es que los microcontroladores de 4 y 8 bits son apropiados para la

gran mayoría de las aplicaciones, lo que hace absurdo emplear micros más potentes y consecuentemente más caros. El criterio de diseño debe ser seleccionar el microcontrolador de menor ancho de palabra que satisface los requerimientos de la aplicación. Usar un microcontrolador de 4 bits supondrá una reducción en los costes importante, mientras que uno de 8 bits puede ser el más adecuado si el ancho de los datos es de un byte. Los microcontroladores de 16 y 32 bits, debido a su elevado coste, deben reservarse para aplicaciones que requieran altas prestaciones (Entrada/Salida potente o espacio de direccionamiento muy elevado). Los microcontroladores de 16 bits a pesar de no ser tan cotidianos como los de 8 bits deben ser contemplados debido a la tendencia a ser utilizados cada vez más en aplicaciones en que los datos requieren más precisión (instrumentación, operaciones matemáticas complejas, etc.).

En cuanto a las técnicas de fabricación, cabe decir que prácticamente la totalidad de los microcontroladores actuales se fabrican con tecnología CMOS 4 (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Esta tecnología supera a las técnicas

anteriores por su bajo consumo y alta inmunidad al ruido. La distribución de las ventas según su aplicación es la siguiente:

Una 30% se absorbe en las aplicaciones relacionadas con los computadores y sus periféricos. Otro 25% se utiliza en las aplicaciones de consumo (electrodomésticos, juegos, TV, vídeo, etc.) El 20% de las ventas mundiales se destinó al área de las comunicaciones. Un 15% fue empleado en aplicaciones industriales. El resto de los microcontroladores vendidos en el mundo, aproximadamente un 10% fueron adquiridos por las industrias de automoción.

Los microcontroladores de 4 bits literalmente están desapareciendo debido a la aparición de otros dispositivos mas rápidos y con mas prestaciones, además, el campo para los microcontroladores de 16 y 32 bits se está expandiendo debido a auge de las comunicaciones móviles con imágenes y otras aplicaciones que requieren el manejo de un gran volumen de datos, por lo que se necesitará mas capacidad para poder procesar ese tipo de datos.

5.4.3. FAMILIAS Y FABRICANTES

Determinar cual es el mejor microcontrolador es una tarea difícil debido a la gran cantidad de fabricantes y prestaciones que brindan pues unos son para aplicaciones específicas y otros de propósito múltiple. Según el volumen de ventas y la cantidad de modelos los fabricantes de mayor relevancia son:

Microchip Technology Corp.

STMicrocontrollers

Atmel Corp.

Motorola Semiconductors Corp.

Intel

En el caso de Motorola, la familia mas utilizada por velocidad memoria y precio es la MC68HC11 de ocho bits. En el caso de Atmel la familia mas utilizada es la de 8 bits 8051. Microchip es la compañía que mayor variedad de microcontroladores posee, en realidad son mas de 159. existen varias familias de las que el microcontrolador mas representativo es el 16F84. Existen 4 familias en el caso de Microchip y son la PIC12C/FXX, la PIC16C/FXX, la PIC17C/FXX, y la

PIC18C/FXX. La familia mas veloz y capaz de manejar 32 bits es la familia PIC18C/FXX.

La tabla a continuación muestra a los mejores microcontroladores por fabricante tomando en cuenta velocidad en MHz y capacidad de RAM, adicionalmente se toman en cuenta las prestaciones como convertidores A/D y D/A, comunicación serial, numeros de puertas de entada y salida, etc.

Devices	Internal RAM	Max Bus Frequency	Speed	Supplier
68HC11F1	1024	5, 4, 3, 2	-	Motorola
ST92F150CR1	4096	-	25	ST
PIC18F2539	1400	-	40	Microchip
ATmega128	4096	-	16	Atmel

Tabla 5.2 Microcontroladores con mayores prestaciones y sus fabricantes

5.5. DISEÑO DE LA INTERFASE PARA POSICIONAMIENTO DE LA ANTENA

La primera consideración a realizar al momento del diseño de la interfase automática para posicionamiento de la antena, fue que esta debía conectarse con un PC por medio del puerto serial, esto debido al que la distancia entre la misma que debe ubicarse cerca de la antena y la computadora permite el uso del estándar RS-232C.

Luego, los niveles de voltaje de la señal serial de datos deben ser adaptados para que el microcontrolador los pueda recibir y transmitir. El microcontrolador es el centro de la interfase y se encarga de recibir el ángulo al que se debe posicionar la antena desde el computador y envía el valor actual del ángulo de inclinación de la antena al PC. Al microcontrolador se conecta un adaptador de señal que compatibiliza los niveles de voltaje que proporciona el sensor de inclinación para que ingresen por el pin correspondiente al convertidor Analógico a Digital que debe poseer el microcontrolador. El microcontrolador envía una señal de datos por la cual se indica el sentido de giro del motor, a una etapa de potencia que debe manejar al motor, por supuesto, esta etapa debe aislarse del microcontrolador para evitar que una falla en el manejador del motor provoque un daño a dicho dispositivo. Se utilizará un motor DC a 36 voltios con una corriente nominal de 1.8 amperios y un sensor de inclinación mejor conocido como inclinómetro electrónico.

A continuación mostramos en la figura 5-13 un diagrama de bloques simplificado de la interfase electrónica para posicionamiento automático.

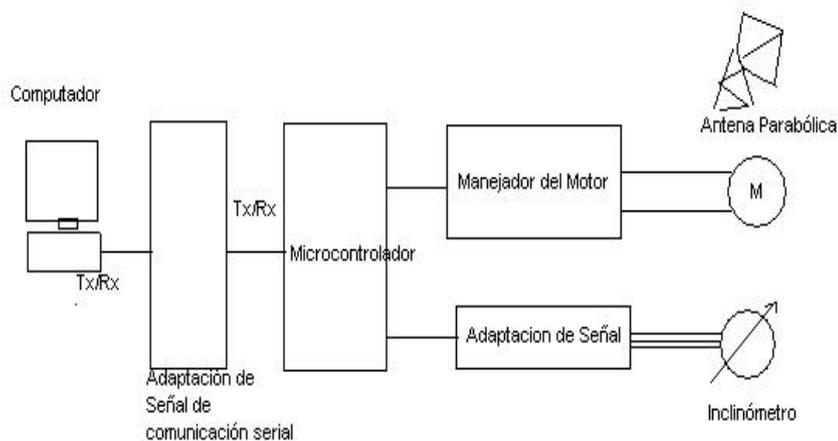


Figura 5-13. Esquema simplificado de la Interfase de posicionamiento de la Antena

Además se debe diseñar una fuente de alimentación con capacidad de suministrar la suficiente potencia al motor DC, al sensor de inclinación y a los dispositivos electrónicos de control. En los siguientes sub capítulos explicamos como se implementaron cada una de las etapas de la interfase hasta su funcionamiento definitivo e integral.

5.5.1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

En sí, se debe hablar de tres fuentes de alimentación, pues los requerimientos de voltaje para los dispositivos de esta interfase son diferentes. La interfase según los requerimientos de voltaje se divide en tres partes, una la sección de fuerza, en la que se alimenta a un motor DC por medio de un puente H , dicho

motor consume 36 voltios con una corriente nominal máxima de 1,8 amperios, se consideró que no era necesario el filtrado de la señal de voltaje de alimentación por lo que se envía los 36 voltios directamente del puente de diodos PD3, dado que se aplica directamente el voltaje se optó por utilizar un puente de diodos de 8 amperios para evitar que este sea afectado por las corrientes de pico. El transformador de alimentación para esta fuente tiene una entrada de 120 V y una salida de 36 V, dicho transformador tiene una corriente de entrada de 3 Amperios . La segunda fuente de alimentación provee dos voltajes regulados DC uno +5 voltios que es regulado mediante el integrado IC1 que es un 7805, mientras que el otro voltaje es – 5 voltios regulado mediante el integrado IC2 que es un 7905, además se utilizan dos capacitores electrolíticos C1 y C2 de 3300 uF con el propósito de filtrar el voltaje que alimenta a los reguladores de voltaje. Esta segunda fuente de alimentación es utilizada para la etapa de adaptación de la señal del sensor de inclinación, el microcontrolador y el adaptador de voltajes de la comunicación serial.

La última fuente de alimentación es usada para los interruptores ópticos que aíslan la etapa de fuerza de las salidas del microcontrolador, asimismo los interruptores ópticos se alimentan directamente de la salida de un capacitor de filtrado C7 de 3300 uF que a su vez está conectado a un puente de diodos PD2. La figura 5-14 muestra un esquema de las fuentes de alimentación de la interfase.

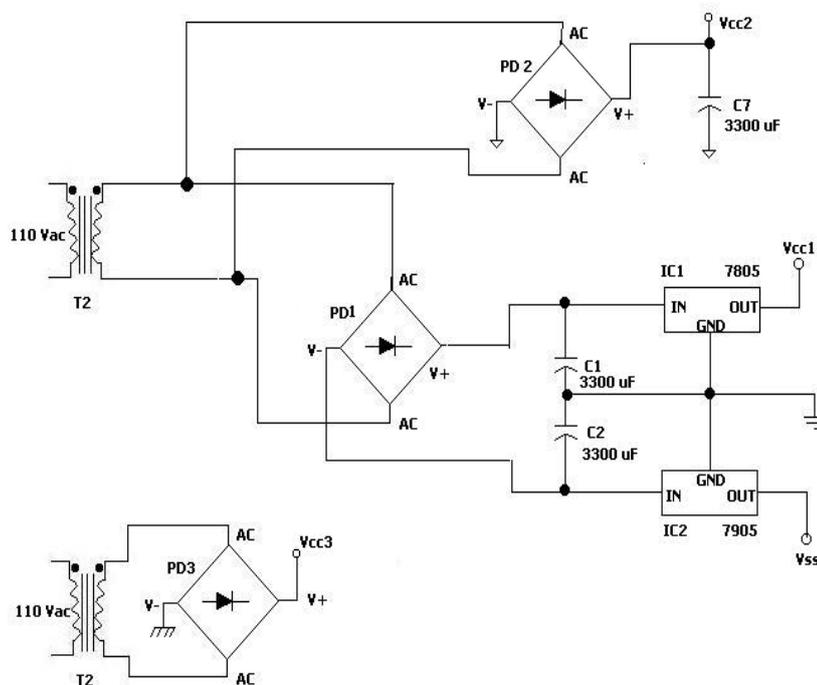


Figura 5-14 Fuentes de Alimentación de la Interfase

5.5.2. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR

Dado que los microcontroladores de la marca Microchip son los más populares y la información referente a estos se encuentra

disponible en la Internet, se decidió utilizar un PIC. De acuerdo a la capacidad que el microcontrolador debe manejar se selecciono uno que tenga un bus de datos interno de 8 bits, en cuanto al tamaño y las prestaciones el microcontrolador debería ser pequeño y sus pines configurables ya sea como entradas y salidas. Se necesitó también de un convertidor analógico a digital, el cual de preferencia debería estar incorporado al microcontrolador , dado que el rango de grados a medir era de 140° y existen microcontroladores con convertidores A/D de 10 bits, la conversión tendría 2^{10} llevado a la 10 pasos lo que es igual 1024 el tamaño del paso en grados sería de $0,14^{\circ}$ que es mas preciso que un posicionador como los que los receptores satelitales tienen incorporados. Por lo tanto se determinó que un tamaño de 10 bits era el adecuado para dicho convertidor. Entre los microcontroladores de gama media que tienen bus de datos de 8 bits y convertidor A/D incorporado se encuentra el PIC12F675 que se muestra en la figura 5-15 dicho PIC esta encapsulado en un dispositivo de 8 pines de los cuales al descartar los dos de alimentación quedan seis pines configurables ya sea como entradas o

salidas digitales y como entradas para el convertidor analógico a digital.

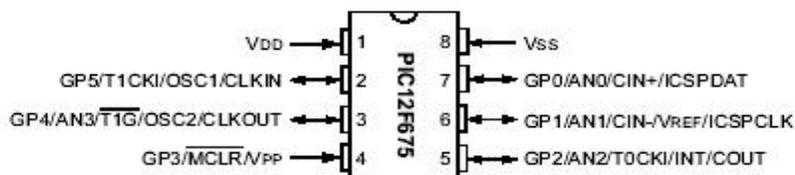


Figura 5-15 Vista del microcontrolador seleccionado PIC12F675

De este PIC se utilizaron dos líneas para la comunicación serial con el computador, una para la señal del sensor de inclinación que previamente debe pasar por un adaptador de señal y otras 2 para enviar las ordenes al manejador del motor e indicar el sentido de giro del mismo ya sea hacia delante o hacia atrás. Este microcontrolador cuenta con 35 instrucciones por medio de las cuales se desarrollan los programas.

En el esquemático de la interfase que se junta al manual de mantenimiento, se encuentra el microcontrolador rotulado como IC5, para el ingreso de las señales de transmisión y recepción serial de datos se utilizaron los pines cuatro y cinco del 12F675, el comando del motor DC se realiza mediante dos

En este ambiente integrado de desarrollo se encuentran los compiladores ensambladores y enlazadores del lenguaje MPASM que es propio de los PIC, pues cada marca desarrolla un ambiente y lenguaje de programación diferente, el microcontrolador seleccionado tiene 35 instrucciones las cuales se utilizan para formar el programa que es compilado y simulado con las opciones de MPLAB, se puede ver el contenido de los registros y las memorias internas del PIC antes de ser grabado para evitar dañar varios micros hasta obtener el resultado deseado. Luego se ejecuta el MPASM cuya figura es la 5-17 .

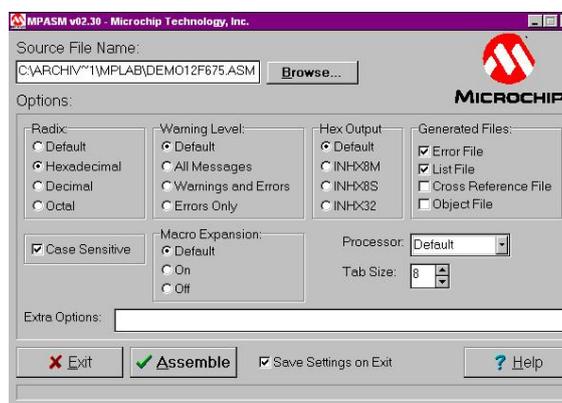


Figura 5-17 Ensamblador para Microchip MPASM

Además se necesitan simuladores y emuladores los cuales también están incorporados al IDE como se

menciono previamente, y se requiere de un grabador que permite incorporar el programa ya compilado, ensamblado y enlazado al dispositivo físico para poder utilizarlo dentro del circuito que se desee, estos se denominan programadores como el PRO-MATE II que es un programador universal de dispositivos o el PIC Start Plus.

5.5.2.2. CONVERTIDOR ANALÓGICO-DIGITAL

El convertidor analógico a digital que esta incorporado en el PIC12F675 es de 10 bits con circuito de muestreo y retención y conversión por aproximaciones sucesivas. Existen dos registros que se encargan del control del convertidor y son : ADCON0 y ADSEL . El microcontrolador posee cuatro entradas que pueden ser configuradas como la entrada de señal analógica que va a aplicarse dicho convertidor, la selección se la realiza con los bits CHS1 y CHS0 equivalentes a los bits 3 y 2 respectivamente del registro ADCON0 es decir que esos bits controlan cual canal es el que se conectara al circuito de muestreo y retención. A continuación se

muestra en la figura 5-18 un diagrama de bloques del convertidor A-D. Existen dos opciones de voltaje de referencia, uno el voltaje de alimentación positivo y el segundo un voltaje aplicado al pin 6 del microcontrolador. Se requieren 11 períodos del reloj de conversión para concluir una conversión A-D por lo que con los bits 6 y 4 del registro ANSEL se puede determinar el período de conversión que puede ser de la mitad hasta la sexagésima cuarta parte de el periodo de oscilación del reloj del microcontrolador.

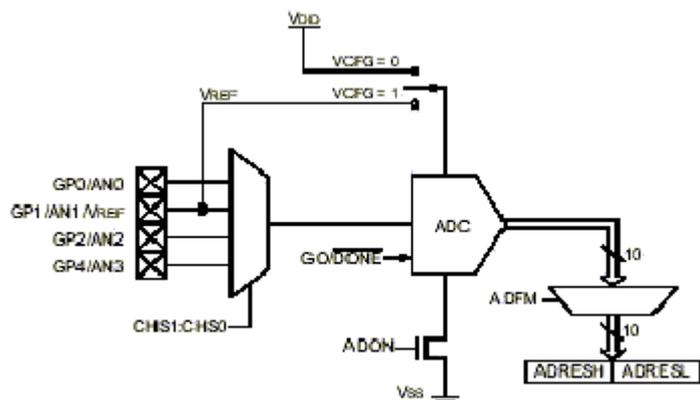


Figura 5-18 Estructura del convertidor A/D del PIC12F675

El bit 1 del registro ADCON0 se denomina GO/(DONE) y al hacerlo 1 se inicia una conversión A-D , cuando dicha conversión es completada, este bit se hace cero .

si la conversión debe ser abortada, se lo puede hacer mediante software haciendo cero el bit 1 de ADCON0. el bit ADON del registro ADCON0 indica si el convertidor esta haciendo una conversión o no el bit 7 denominado ADFM indica como se deben guardar los 10 bits resultado de la conversión. Y el bit 6 VCFG es el que permite determinar el voltaje de referencia, una muestra del registro ADCON0 se muestra en la figura 5-19.

ADCON0 — A/D CONTROL REGISTER (ADDRESS: 1Fh)

R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	VCFG	—	—	CHS1	CHS0	GO/DONE	ADON
bit 7							bit 0

Figura 5-19 Estructura del registro ADCON0

Los bits 6, 5 y cuatro del registro ANSEL se utilizan para la determinación del período de reloj del convertidor A-D cuyos valores se encuentran en la Hoja de Datos del PIC12F675. Los bits 3,2,1 y 0 se utilizan para la selección de la entrada que se desea usar como analógica. En la figura 5-20 se muestra el registro ANSEL.

ANSEL — ANALOG SELECT REGISTER (ADDRESS: 9Fh)

U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
—	ADCS2	ADCS1	ADCS0	ANS3	ANS2	ANS1	ANS0
bit 7							bit 0

Figura 5-20 Estructura del registro ANSEL del PIC12F675

Para que el convertidor trabaje con la mayor precisión se debe permitir que el capacitor interno del circuito de muestreo y retención del convertidor se cargue y su valor de voltaje pueda ser comparado con el valor del contador digital interno.

5.5.2.3 CIRCUITERÍA COMPLEMENTARIA PARA SU TRABAJO

Dentro de la circuitería complementaria para el trabajo de la interfase se encuentra la etapa de adaptación de señal del inclinómetro electrónico, la que consiste de dos operacionales de precisión diseñados por la empresa Microchip especialmente para ser usados con sus microcontroladores. Estos operacionales son los integrados IC3 el MCP618 mostrado en la figura 5-21

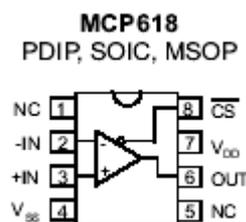


Figura 5-21 Encapsulado del MCP618

Este operacional tiene una CMRR de 100 dB un pin para selección de chip CS, una corriente de offset de ± 3 nA, y una ganancia de lazo abierto típica de 120 dB. El producto de ganancia por ancho de banda es de 190 KHz y el slew rate es de 0.08 V/useg, lo que le dan a este operacional de alimentación unipolar excelentes características de precisión y rechazo al ruido. El IC4 TC913A que posee dos operacionales con voltaje de offset de 15 μ V con un slew rate de 2.5 V/useg, también tiene un ancho de banda de ganancia unitaria de 1.5 MHz y CMRR de 110 dB. En la figura 5-22 se muestra el encapsulado del TC913A.

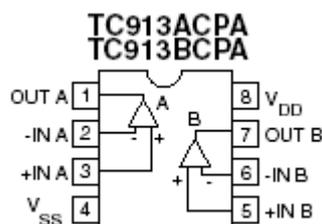


Figura 5-22 Encapsulado del TC913A

Ambos tienen una característica especial que es que tienen un nivel de voltaje offset compensado internamente lo que facilita el uso de voltajes de

referencia para el circuito asegurando la precisión de la conversión de niveles de voltaje analógico del sensor de inclinación que serán aplicados al pin 7 del microcontrolador que fue programado como entrada al convertidor analógico a digital. La figura 5-23 muestra el esquemático de la etapa de adaptación de señal.

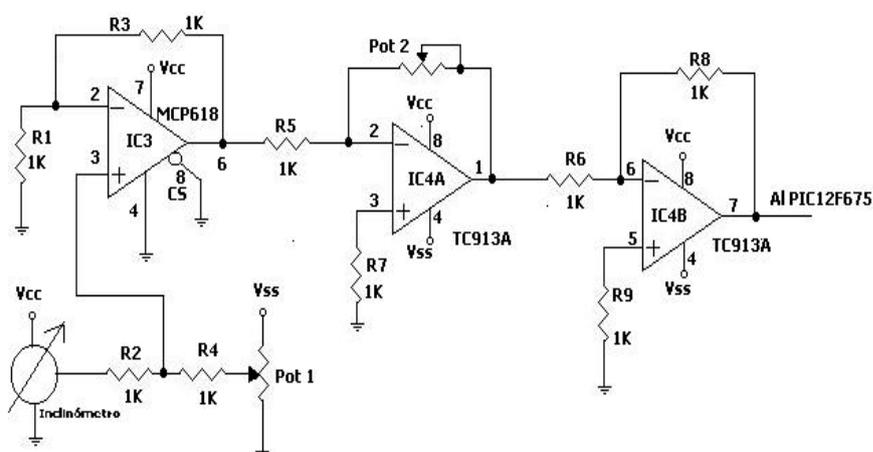


Figura 5-23 Etapa de adaptación de la señal del inclinómetro electrónico

El inclinómetro es alimentado con 5 voltios positivos, su salida se encuentra en un valor entre 0 y 5 voltios, la etapa de adaptación convierte este rango de voltaje en otro rango de voltaje entre +5 y - 5 voltios para que el voltaje correspondiente al ángulo que mida la antena sea convertido en un valor digital mediante el convertidor A/D que se encuentra dentro del

microcontrolador PIC12F675. El voltaje de la salida del inclinómetro, se suma a un voltaje de referencia que es calibrado con Pot1 , luego este voltaje se aplica a un amplificador no inversor implementado con IC3, luego la señal es aplicada a un amplificador inversor usando IC4A cuya ganancia se calibra por medio de Pot2 y luego se aplica a otro amplificador inversor con IC4B para que la señal adaptada se encuentre no invertida.

5.5.3. ACOPLAMIENTO DE NIVELES DE VOLTAJE DE LA INTERFASE RS232 Y TTL

Para realizar el acoplamiento de los niveles de voltaje de la línea de transmisión y recepción serial de datos con los niveles de voltaje que maneja un circuito digital como un microcontrolador se requiere de un circuito de interfase, el mas conocido es el MAX232. En la línea serial un uno lógico es representado con un voltaje negativo cuyo valor se encuentra entre -3 y -12 voltios, y el cero lógico se encuentra entre 3 y 12 voltios este rango se debe a que el voltaje se atenúa con relación a la distancia desde el computador hacia el circuito interfase. Los microcontroladores o circuitos digitales son mayoritariamente de dos tecnologías, TTL y CMOS en las que

un uno lógico se representa con 5 voltios y un cero lógico con un valor de voltaje de cero voltios. El circuito interfase MAX232 contiene negadores que hacen que los voltajes se acoplen ya sea para la recepción en la que entra al MAX232 voltajes de la transmisión serial y sale señales TTL que van al microcontrolador o para la transmisión en la que ingresan voltajes TTL y salen valores de voltaje para la línea serial de datos, de manera que puedan ser interpretados por el terminal de datos. En la figura 5- se muestra un esquema simple del MAX232.

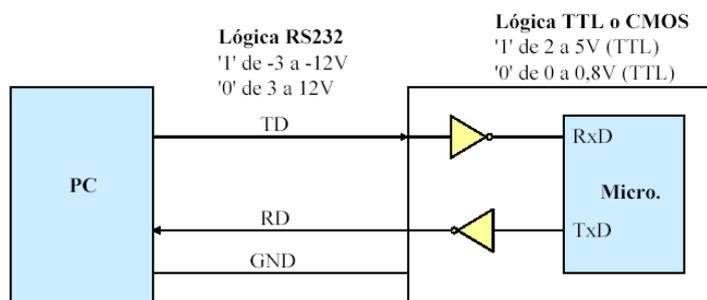


Figura 5-24 Conversión de voltajes de la señal serial del computador para uso de la interfase

En nuestra interfase, el integrado MAX232 es el IC8, se usan los capacitores electrolíticos C3, C4, C5 y C6 de 10 uF para evitar que se produzcan variaciones en los bits que se transmiten o reciben, a este integrado se conecta en

microcontrolador IC5 que es un PIC12F675 y por otro lado a un conector DB9 que sirve para acoplar el cable de transmisión serial de datos al computador, la figura 5-25 muestra el MAX232 conectado al microcontrolador PIC12F675.

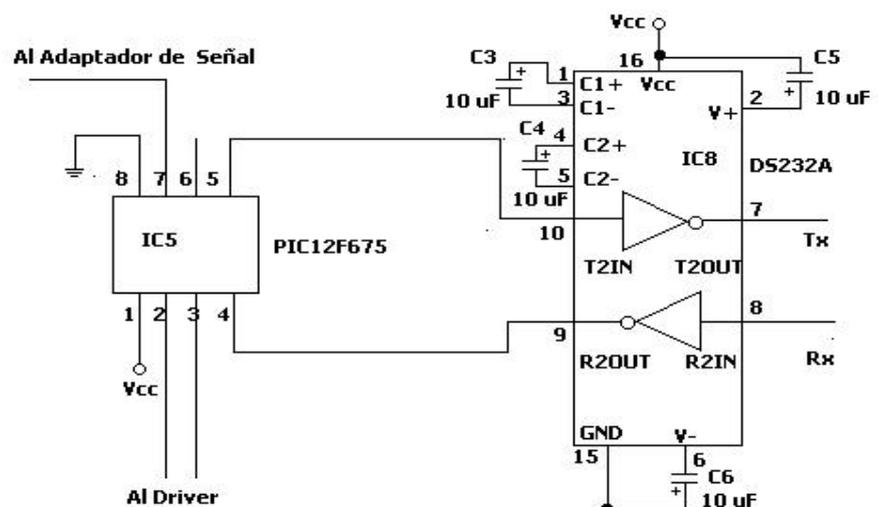
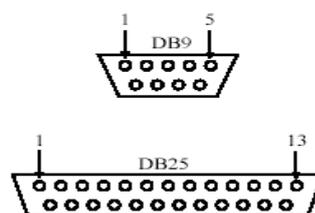


Figura 5-25 Conexión entre el Microcontrolador y el MAX232

A continuación, en la figura 5-26 mostramos los pines de transmisión, recepción y referencia a tierra en un conector DB-9 y otro DB-25. Es necesario acotar que la comunicación serial asincrónica permite El uso de solo estos tres pines.



Señal	Sentido	DB25	DB9
TD	Salida	2	3
RD	Entrada	3	2
GND		7	5

Figura 5-26 Pines de Tx y Rx para conectores DB9 y DB25

5.5.4. CIRCUITO DE MANEJO DEL MOTOR

El circuito de manejo del motor esta basado en el puente H por medio del cual se puede controlar el sentido de giro del motor DC. Debido a que se debe manejar a un motor de 36 voltios a 1.8 amperios se realizaron varias pruebas para implementar los conmutadores con relés de estado sólido, pero debido al costo de los mismos se prefirió el uso de relés mecánicos. El circuito de control esta aislado de la sección de fuerza por medio de los interruptores ópticos IC6 e IC7 adicionalmente del aislamiento entre la bobina del relé y el respectivo contacto. Cada relé tiene un contacto normalmente abierto y uno normalmente cerrado, cada vez que se envíe una señal a la bobina de los relés uno y cuatro, la corriente que se aplica al

motor fluirá en un sentido. Si se activan en cambio los relés dos y tres la corriente fluirá en otro sentido cambiando de la misma forma el sentido de giro del motor. El puente H es alimentado por la fuente de 36 voltios, cabe destacar que la referencia a tierra de la parte de control, y la de esta fuente con el puente H son diferentes, es decir, si se presenta algún cortocircuito en la etapa de fuerza, esta no afectará a la etapa de control y esa corriente excesiva se manejará hacia una referencia de tierra diferente.

Debido a que las bobinas de los relés son cargas inductivas, los cambios de corrientes aplicadas producirán corrientes inducidas como una reacción a dichas corrientes aplicadas, por lo que para proteger a las bobinas se utilizan los diodos D1, D2, D3 y D4 que están inversamente polarizados con relación a la corriente que se les aplica para activar los relés. El diagrama del circuito manejador del motor se muestra en la figura 5-27

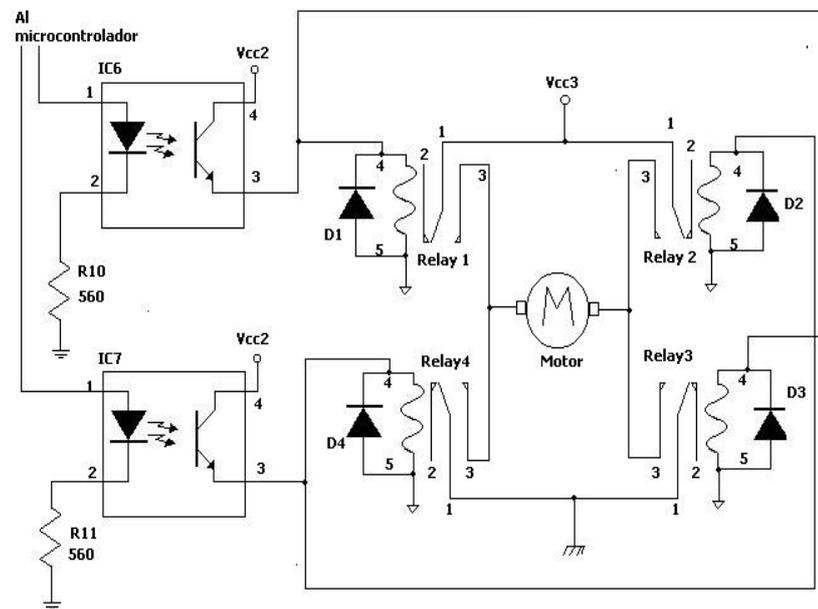


Figura 5-27 Manejador del motor de 36 VDC

5.5.5. EL SENSOR DE INCLINACIÓN COMO ELEMENTO DE REALIMENTACIÓN

El sensor de inclinación es utilizado como elemento de realimentación para realizar el control del ángulo al cual la antena debe movilizarse. Se seleccionó uno que tiene un solo eje con un rango de operación entre -70° y 70° es decir 140° y con referencia respecto a la vertical. Este sensor esta herméticamente sellado y su funcionamiento se basa en la variación de la capacitancia de un fluido electrolítico que se encuentra en el interior del sensor, además este posee internamente una circuitería por la que se obtiene un voltaje

proporcional al ángulo de inclinación. Sus principales aplicaciones son en equipamiento de construcción, pavimentadoras, alineación de ruedas y posicionamiento de antenas satelitales en elevación. En la figura 5-28 mostramos el sensor utilizado para el posicionador computarizado.



Figura 5-28 Vista del sensor de inclinación Spectron

El voltaje de alimentación va desde +5 Vdc hasta +15 Vdc y su corriente nominal es de 0.5 mA. El rango lineal del dispositivo se encuentra entre -60° y $+60^\circ$ con una resolución 0.001° . El valor de 0° esta dado por la mitad del voltaje de alimentación. La temperatura de operación se encuentra entre -40°C y $+70^\circ\text{C}$. El sensor posee un cable para el voltaje de alimentación, uno para tierra y el otro que es la salida de voltaje proporcional al ángulo de inclinación. El sensor permite un ajuste de 20 grados de manera que se puede dar a un cuadrante mas grados que a otro es decir, se puede ajustar la referencia. La sencillez del manejo de este sensor nos permitió implementar

con mas rapidez esta interfase, y la precisión que asegura nos permite seleccionar el satélite deseado de mejor manera que lo hacen los posicionadores incorporados en los receptores satelitales.

5.6. DISEÑO DEL SOFTWARE PARA MOVIMIENTO DE LA ANTENA

Una de las tareas quizás más desafiantes de nuestro proyecto de tesis lo ha constituido el diseño del programa que movilice a la antena haciendo actuar a un motor por medio de una interfase electrónica. Para diseñar el software para movimiento de la antena se debieron establecer previamente los requerimientos mínimos que debía cumplir para determinar una adecuada herramienta de programación, manejar la lista de los satélites que en si mismo es una pequeña base de datos, establecer ciertos criterios para la selección de los canales a ser vistos, y el diseño de la interfase grafica del usuario. El nombre escogido para el programa es SATTRACKER, pues a fin de cuentas el software rastrea satélites ya grabados previamente usando la información que la interfase recaba proveniente del sensor de inclinación.

A continuación se procede a explicar lo anteriormente presentado.

5.6.1. SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE PROGRAMACIÓN

Una adecuada herramienta de programación nos permite diseñar de manera rápida y eficiente, evitando escribir un exceso de líneas de comandos solo para las ventanas. Por lo que se pensó definitivamente utilizar un Lenguaje de programación Visual, por medio del cual las pantallas del programa se presentan de manera tal como en el sistema operativo Windows que comúnmente utilizan los computadores personales en la actualidad.

Previamente se realizaron ensayos con un programa implementado en lenguaje C para DOS que produjo miles de líneas de código de las que casi el 75% se dedicaban a la presentación de las ventanas o manejo de archivos de datos y dado que las prestaciones de C en el caso de archivos son demasiado básicas, su implementación para el sistema operativo DOS complicaría su interacción con la interfase, así de esta manera, el lenguaje de programación seleccionado es el ya conocido Visual Basic, el cual es sencillo de programar y

ofrece una interfase gráfica amigable para el usuario que necesita operar el sistema satelital.

También viene con las herramientas de instalación y puede manejar bases de datos y otros documentos tales como los productos de la Microsoft. A continuación en la figura 5-29 se muestra el entorno de trabajo del lenguaje de programación Visual Basic.

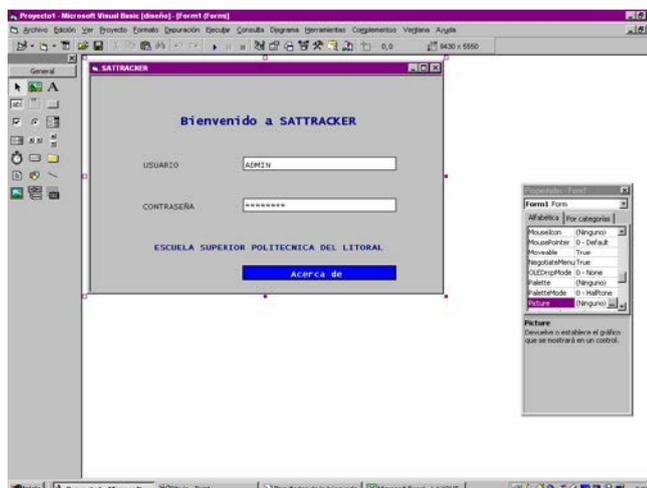


Figura 5-29 Entorno de programación de Visual Basic

5.6.2. DEFINICION DE LOS TIPOS DE USUARIOS

Al momento de decidir si podrían existir varios tipos de usuarios, se determinó que sería más conveniente que la antena parabólica solo pueda ser operada por el ayudante

académico o por el profesor, pues son las personas que se encuentran a cargo del laboratorio de Telecomunicaciones y son responsables por la antena y su movilización. Por lo tanto se estableció que debería existir un solo usuario que maneje el posicionamiento de la antena y ejecute el programa SATTRACKER. De esta manera se evita que los estudiantes que realizan sus prácticas o simplemente algún estudiante que quiera movilizar la antena parabólica sin tener el suficiente conocimiento de lo que esta haciendo que se produzca un desajuste o un daño irreparable a la interfase de posicionamiento.

El programa al inicio, solicita el ingreso del usuario y la contraseña, si alguno de los dos no corresponde a lo solicitado se prohíbe el ingreso al software. En caso afirmativo, se despliega la pantalla del menú del usuario. En la figura 5-30 se muestra la ventana para el ingreso del usuario y la contraseña del programa SATTRACKER.



Bienvenido a SATTRACKER

USUARIO ADMIN

CONTRASEÑA *****

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Acerca de

Figura 5-30 Ventana para ingreso de usuario y contraseña

5.6.3. MANEJO DE LA LISTA DE SATÉLITES

El programa SATTRACKER posee una ventana en la que se realiza el ingreso de un nuevo satélite a una pequeña base de datos que almacena los siguientes campos: Nombre del Satélite, que es una cadena de caracteres que se almacena como por ejemplo: "Panamsat 9" que es el nombre de un satélite conocido; Posición del Satélite es un valor que debe tener tres dígitos y dos decimales que indica el valor del ángulo de elevación al que se encuentra el satélite en grados oeste o west como por ejemplo "116,8° West"; Banda es el valor de la Banda Satelital que tienen dos valores: "C" o "Ku"; Datos Adicionales es el campo en el cual se puede anotar alguna

característica adicional que el usuario desea anotar, La figura 5-31 muestra la pantalla en la que se maneja la base de datos.

INGRESAR NUEVO SATELITE

NOMBRE

UBICACIÓN EN ELEVACION °W

BANDA C KU

DATOS DEL SATELITE: Tiene un PIRE de recepción de 50 dbW en el Ecuador, se puede recibir señales digitales en formato DVB-S abiertas nivel de recepción promedio 80%

Figura 5-31 Ventana de la Base de Datos de SATTRACKER

5.6.4. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE CANALES Y PROGRAMACIÓN ADECUADOS

Justo esto es una parte esencial del proyecto, en primer lugar se debería de buscar en el Internet programación abierta de televisión educativa que beneficiaría muchos a los estudiantes ya que existen canales que enseñan diversos cursos en el área a fin de nuestra carrera como: “Diseño de Antenas, Diseño de

Redes, etc. Esto debe estar investigando continuamente para utilizar eficientemente el proyecto.

En segundo lugar luego de la búsqueda se debe de configurar los receptores tanto analógico o digital, según sea el caso, para programar y así reciban la programación deseada. Una ayuda podría ser buscar en la página de Lyngsat cuyo sitio en el Internet es www.lyngsat.com la cual muestra continuamente los cambios de programación de los satélites y los nuevos canales que tienen, tanto en televisión codificada o televisión abierta. Dado que la programación satelital es dinámica se requiere la configuración de los canales que se reciben de manera periódica, inclusive se requiere a una persona dedicada a la investigación de mas convenios posibles para la obtención de programación que pueda ser editada y distribuida a la comunidad politécnica e inclusive a los alrededores del campus mediante un sistema de retransmisión.

5.6.5. DISEÑO DE LA INTERFASE GRÁFICA DEL USUARIO

A continuación se describe mediante figuras las secuencias del software diseñado para que el usuario pueda operar el sistema de una manera gráfica.



Figura 5-32 Ventana del software SATTRACKER en operación

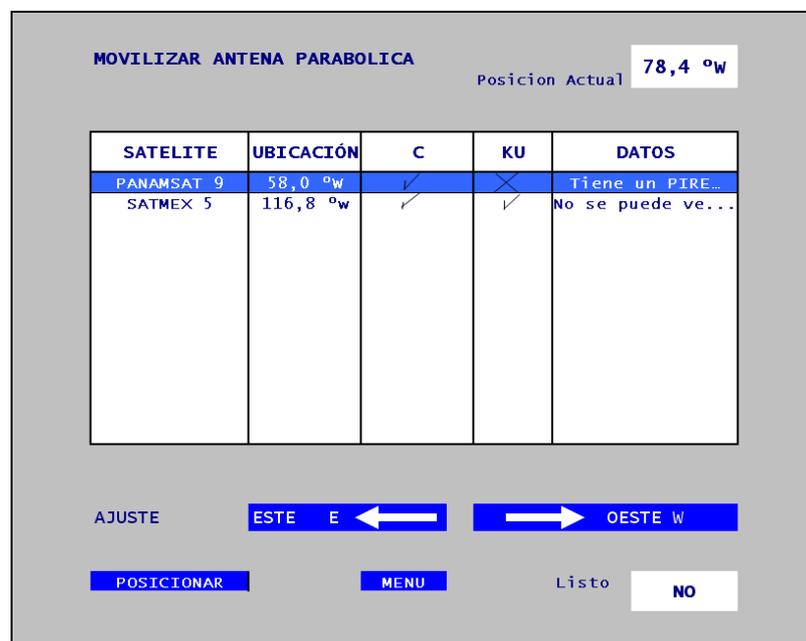


Figura 5-33 Ajuste fino de posición del satélite

5.7. ACOPLAMIENTO DE LA INTERFASE Y EL SOTWARE

La idea principal de la interfase es el que sirva de comunicación entre la computadora y la antena satelital. Mientras tanto el software es el que maneja la base de datos de los satélites geoestacionarios que se ubican en la línea ecuatorial que previamente tienen que ser buscados sus ubicaciones actuales de los satélites en la pagina www.lyngsat.com. El software se comunica con la interfase por medio del puerto serial de la computadora. Existe un cable de cobre que va desde el puerto serial de comunicación hasta la interfase electrónica. Esta interfase se encuentra en la parte de debajo de la antena satelital dentro de una caja de intemperie colocada previamente.

En la interfase se encuentra acoplada un puerto serial para conectar el un extremo del cable que viene desde la computadora, la cual se encuentra en el Laboratorio de Telecomunicaciones.

Así de esta manera se encuentra unida la interfase con la computadora donde se encuentra instalado el software que opera el usuario para la digitación del satélite deseado.

5.8. FUNCIONAMIENTO INTEGRAL DEL PROYECTO

El funcionamiento integral del proyecto dependió en gran manera de la comunicación serial entre la interfase con la computadora debido a que la computadora solo envía ordenes y la interfase responde con el valor del ángulo a cada instante. También fue necesario considerar la distancia del cable de comunicación pues la computadora donde reside el programa se encuentra aproximadamente a 15 metros de la interfase y era necesario evitar que la interferencia y la atenuación deterioren los datos. Por tanto, se escogió una velocidad de transmisión baja. Se utilizo un cable de una longitud de 17 metros para este efecto. Además se realizó la instalación de una caja de intemperie donde se aloja la interfase, a esta caja se le instaló un cable concéntrico 3x16 AWG para proveer de energía a la interfase electrónica, de la caja de intemperie salen tres cables que se conectan al sensor de inclinación que es el que mide el ángulo al que se orienta la antena en elevación. El sensor de inclinación es capaz de soportar los rigores de la intemperie por lo que no se le adicionó protección alguna, solo se fijó el sensor a la barra metálica de la cremallera mediante un perno galvanizado, para evitar que se oxide debido al medio ambiente.

El programa SATTRACKER se cargó en la computadora de la mesa de trabajo del Laboratorio de Telecomunicaciones y en una portátil que fue utilizada para realizar pruebas de funcionamiento, se utilizó el puerto serial para conectar el cable de datos que sube a la interfase. Se realizó la carga de los datos de varios satélites geoestacionarios para realizar las pruebas correspondientes de orientación de la antena y captación de la señal de las que se obtuvo adecuados resultados, lo que facilita la orientación de la antena, dado que el posicionador que posee el receptor analógico es demasiado antiguo y al no poseer realimentación no se aseguraba la precisión que se requiere.

Es necesario aclarar que el grabado de un nuevo satélite utilizando el posicionador del receptor satelital analógico requería de realizar largos cálculos mediante las fórmulas 4-1 hasta 4-4 mostradas en el capítulo previo, sub-sección 4.6, también se necesitaba una persona trepada en la terraza con un inclinómetro que debía asegurarse que la antena se oriente y debía inclusive gritar para que se pueda realizar la configuración de un solo satélite en el lapso de unos veinte minutos.

Actualmente, el sensor de inclinación envía la ubicación de la antena en tiempo real y el programa guarda dentro de sí las formulas citadas, de manera que solo se debe ingresar el ángulo oeste del nuevo satélite y nada mas, pues se ordena a la interfase posicionar. Se incluyeron botones de ajuste fino para cambiar la ubicación de la antena sin necesidad de solo ingresar los datos.

A continuación se muestran figuras de la infraestructura implementada



Figura 5-34 Caja de intemperie usada para guardar la interfase



Figura 5-35 Cableado hacia la interfase



Figura 5-36 Foto de la Antena Parabólica de la FIEC totalmente rehabilitada

Dado que nuestra Facultad y la ESPOL por medio del proyecto VLIRR creyeron en nuestro proyecto y lo ayudaron a financiar, consideramos que era necesario brindar alternativas para la aplicación de esta tesis de implementación en el campo de la tele-educación, que ha sido casi vedado para nuestra institución politécnica. Consideramos necesario que dichas alternativas presenten soluciones viables para la extensión de la universidad no solo hacia las aulas de clase, sino a los televisores y que por medio de ellos gran cantidad de ecuatorianos puedan recibir educación a distancia y que los mismos politécnicos reciban clases desde otras universidades, asistiendo a tele-conferencias y otras vastas aplicaciones.

En el siguiente capítulo reforzamos la validez de nuestro proyecto presentando las alternativas de uso de esta infraestructura, que justificarán de sobremanera la inversión realizada.

CAPITULO 6

6. APLICACIONES PROPUESTAS PARA LA ANTENA DE LA FIEC

6.1. RECEPCIÓN DE TELEVISIÓN: USO DE PROGRAMAS EDUCATIVOS PARA DIFUSIÓN A NIVEL LOCAL.

Una de las aplicaciones principales de este sistema es la recepción de televisión, y dado que existe una variada programación en los diversos satélites que se pueden captar, es necesario advertir que la televisión educativa es de primordial interés para nuestra escuela. La implementación de un sistema de difusión interna de televisión, permitiría que diversas unidades de la ESPOL utilicen la señal

recibida desde el satélite para beneficio de esas unidades y de la sociedad a la que nos debemos. Existen organizaciones que proveen servicios de televisión educativa, como la Asociación de Televisión Educativa Iberoamericana ATEI , creada por el Ministerio de Educación de España en conjunto con mas de 200 instituciones en varios países latinoamericanos cuyo propósito es hacer uso de la televisión y las nuevas tecnologías para la enseñanza y el aprendizaje y divulgación del conocimiento técnico, científico y cultural.

En el sitio de Internet de ATEI se encuentran los objetivos y recursos de esta entidad. Un miembro de ATEI tiene la posibilidad no solo de recibir programación, sino de elaborar programas educativos que serán transmitidos por la red de manera que, los miembros de esta asociación, son entes activos en la generación de programación educativa. Uno de los objetivos de la ESPOL es la extensión, que se cumpliría de gran manera, produciendo programación que seria difundida a otras instituciones educativas Iberoamericanas.

EDUSAT es otra organización que produce programación educativa, se encuentra en México, su gamma va desde formación primaria a

distancia, formación secundaria hasta universitaria, característica útil para los propósitos de la ESPOL. Es necesario advertir que estas redes educativas requieren que las instituciones interesadas se suscriban como socios de las mismas pues la señal no es abierta, por lo que los receptores que son parte del sistema implementado por esta tesis no pueden abrir dicha programación. Cuando una institución se constituye en socia de ATEI o EDUSAT, éstas proveen el receptor que incluye un decodificador, que es el que permite abrir esas señales.

El costo de una membresía es anual previo a un análisis de la solicitud que envía la institución interesada. ATEI en la solicitud de admisión como miembro de la red, pregunta sobre los recursos de la Institución, como por ejemplo aula satelital, cámaras de video y sistemas de recepción . La ESPOL posee la infraestructura y los recursos necesarios no solo para pertenecer a ATEI, sino para participar activamente en la generación de la programación y la difusión de televisión educativa. En cuanto a los costos, para pertenecer a ATEI se debe pagar una preinscripción de US\$ 1500 luego de lo cual, ATEI emite una factura por el valor de la inscripción anual cuyo costo es de US\$ 1000. Con relación a los documentos,

ATEI requiere que la institución interesada a pertenecer a la red con plenos derechos, envíe documentación informativa, la carta de solicitud dirigida al Presidente de ATEI, una pro forma de conformidad con los estatutos de la asociación y el perfil de la institución interesada.

Toda la información acerca de los estatutos, y demás requerimientos se encuentran como se mencionó en el sitio de Internet de la asociación. ATEI adicionalmente organiza congresos en los que se discute acerca de educación a distancia y televisión educativa, y la ESPOL puede aprovechar estas oportunidades para participar de manera activa y desarrollar su sistema propio de educación a distancia. Nuestra tesis en si no solo representa la reparación de un plato parabólico, sino la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos en telecomunicaciones, para el beneficio de la ESPOL, insertándola en esta prometedora área de difusión del conocimiento, es decir, ser cada vez mas, parte de la sociedad del conocimiento, aplicando las tecnologías disponibles.

INSTITUCION	NOMBRE
Calidad Total Producciones	David Suárez Moreno
Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión"	Carlos Vinicio Naranjo Estrella
Escuela Politécnica Nacional	Fernando Cevallos Jácome
Fundación Teleducando	Carlos Gil Loor
Ministerio de Educación y Cultura de Ecuador	Mayra Aguirre Robayo
Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	Michel Doument Antón
Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí	Dr. Jaime Rodríguez Castillo
Universidad Nacional de Loja	Hugo Ortega Jiménez
Universidad Técnica Estatal de Quevedo	Roberto Pico Saltos
Universidad Técnica Particular de Loja	Econ Abel Suing
Universidad Tecnológica Equinoccial	Carlos Trueba Piedrahita

Tabla 6.1 Miembros ecuatorianos de red ATEI, proveedores de educación a distancia y generadores de programación educativa.

De lo mencionado, nuestra implementación permite la recepción de una o varias redes de televisión educativa debido a que la antena se posiciona automáticamente, la difusión de la programación educativa a nivel del campus desarrollaría aun mas el nivel de la ESPOL como ente de formación superior.

6.2. RECEPCIÓN SATELITAL DE CONFERENCIAS: HERRAMIENTA DE LA EDUCACIÓN A DISTANCIA

En sí la televisión educativa es aquella que es generada por instituciones educativas y es pieza integrante de un modelo pedagógico. Es una herramienta en el proceso de enseñanza-

aprendizaje y esta orientada a públicos identificados por modalidades o niveles académicos que van desde el preescolar hasta el postgrado y por perfiles que distinguen entre docente y alumno.

Generalmente se distribuye por sistemas de acceso restringido vía satélite o por cable, videoconferencias, videocasetes y aplicaciones multimedia, aunque algunas de sus producciones llegan también a sistemas de televisión abierta. La televisión es una sola, pero por los fines que persiga obtener se la puede dividir en tres tipos: Comercial, Cultural y Educativa. La televisión comercial es aquella que mide sus alcances con base a la audiencia (rating); la televisión cultural está diseñada para públicos amplios y su propósito es la difusión de las artes y las ciencias, por ser de carácter abierto, también participa de las dinámicas del rating; y la televisión educativa es una herramienta que enriquece el proceso enseñanza – aprendizaje.

El uso de la televisión educativa y específicamente la recepción de conferencias, es un complemento importante para los programas de las materias que la ESPOL imparte, dado que refuerzan los contenidos de dichas materias, mostrando conceptos e ideas de manera audiovisual. Regularmente quienes dictan las conferencias,

son profesores o profesionales, expertos en su campo, por lo que su aporte es sin duda de gran validez. La mayoría de universidades posee infraestructura para la recepción de conferencias vía satélite, y la realimentación de las mismas se da utilizando la Internet para enviar preguntas por medio del correo electrónico o chat, aunque dichas preguntas serán filtradas en el lugar de origen de la conferencia debido a que su número puede ser grande en relación directa a las varias instituciones inscritas en los programas y el número de asistentes a las conferencias. Nuestra facultad posee la antena parabólica que es capaz de recibir señales en banda C y Ku en polaridad vertical u horizontal que es parte de nuestro proyecto de tesis y su propósito es que se le pueda adaptar el receptor capaz de decodificar conferencias y que es suministrado por las redes de televisión educativa. Es necesario advertir que los receptores de nuestra implementación son capaces de recibir señales abiertas para su recepción. En el caso de que la ESPOL se afiliare a una cadena de televisión educativa como ATEI o EDUSAT deberá adquirir el receptor correspondiente y dado que nuestra antena tiene posicionamiento automático, se podrá cambiar de satélite y de proveedor cuando conviniere.

Nuestra implementación, combinada con una infraestructura de distribución al interior del campus podría ampliar el número de beneficiarios a otras facultades e institutos de la ESPOL en el campus Gustavo Galindo. Por lo mencionado anteriormente, la recepción a distancia de este tipo de conferencias se puede realizar en cualquier punto del planeta, sobre todo en el caso de la educación primaria y secundaria, su utilidad estaría en poder llegar a las escuelas o colegios más apartados de las grandes ciudades como en el oriente ecuatoriano, pueblos de la serranía, de la costa e inclusive del Archipiélago de Colón, para los cuales se necesitaría elementos como una antena no tan grande como la de la Facultad, un alimentador, un LNB que podría ser reemplazado por un LNBF para la polaridad que la señal requiera, cable, el receptor satelital digital con el decodificador específico para la señal y un televisor que combinado con el apoyo de un profesor entrenado podrían mejorar ostensiblemente el nivel educativo de los estudiantes rurales proveyéndoles clases con contenidos audiovisuales entretenidos y con el objetivo y nivel específico para los estudiantes de cada nivel académico. Es una propuesta interesante que las escuelas y colegios posean este tipo de herramienta, en el que se invertiría un valor asequible, del cual multiplicado por un gran número de instituciones

educativas es mucho menor que el de compra de armamento o los dineros que se dejan de obtener por pérdidas negras en los sectores eléctrico y de telecomunicaciones, y otros gastos superfluos en los que incurre el Estado Ecuatoriano.

Por lo tanto, la televisión educativa utiliza la difusión satelital para llegar a grandes extensiones del planeta y aprovechando este amplio margen de acción, los gobiernos deben encaminar sus esfuerzos a permitir que estas ventajas tecnológicas produzcan otras ventajas en la educación de los pueblos, accediendo a redes educativas a distancia o a programas formales de estudio con ayuda de la recepción de conferencias o clases vía satélite. Por consiguiente, la Reactivación de la Antena Parabólica de la FIEC no solo se constituye en una herramienta para la Educación a distancia, sino también que se justifica con plenitud de argumentos.

6.3. ELEMENTOS Y REQUISITOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE VIDEO-CONFERENCIAS

Primeramente, es necesario definir lo que es una videoconferencia y en que se diferencia de una tele conferencia. Es un servicio digital de telecomunicaciones multimedia para el intercambio de información

audiovisual y de datos entre dos o más grupos de personas ubicadas geográficamente en sitios distantes, mediante la transmisión bidireccional de imágenes en movimiento, junto al sonido. Una teleconferencia es la transmisión de una conferencia desde un origen a varios usuarios que reciben dicha señal, no existe una realimentación visual o interactiva debido a su naturaleza unidireccional, pero esto se puede compensar con el uso del correo electrónico como medio de realimentación pero no en tiempo real.

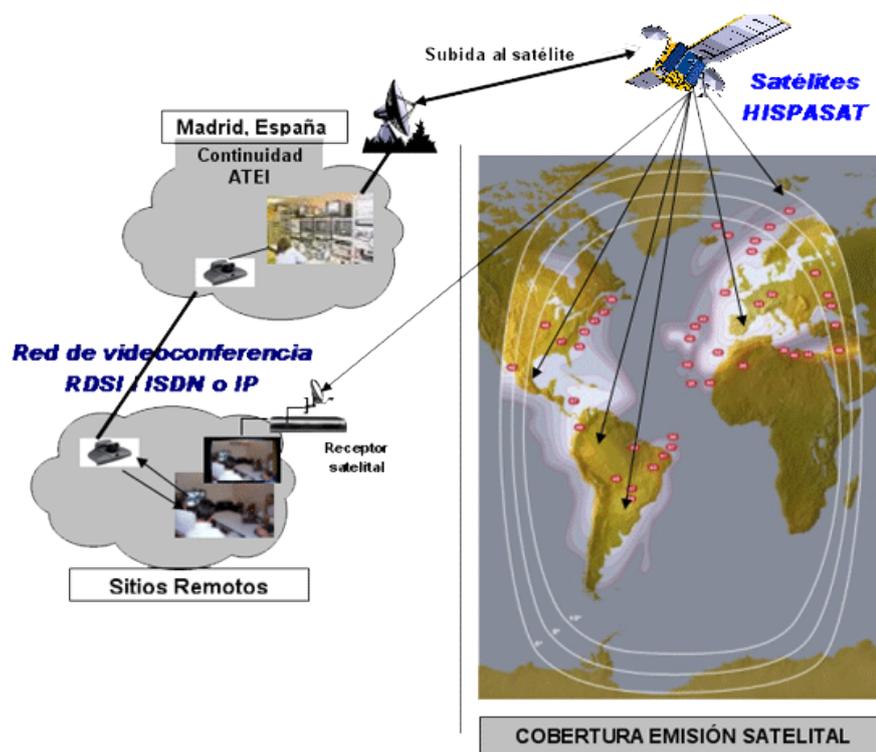


Figura 6-1 Esquema de una red de videoconferencias de ATEI

Para la transmisión bidireccional de imágenes, sonido y video, se requieren equipos de comunicaciones que cumplan el estándar H.323 de la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones), pues las telecomunicaciones tienden a ser mayoritariamente implementadas en redes de datos bajo el protocolo de Internet IP. Dicho estándar define una unidad de control multi-punto MCU que permite que tres o mas terminales participen en una videoconferencia y tiene dos componentes, uno el Controlador de Conferencia que coordina la comunicación entre terminales y otro es el Procesador Multipunto que recibe la información de todos los terminales, mezcla, conmuta y procesa las imágenes de dichos terminales para distribuirla nuevamente a los usuarios.



Figura 6-2 Equipo MCU utilizado por la red ATEI, permite comunicación en líneas RDSI o vía IP

El estándar H.323 soporta comunicación en redes de conmutación de paquetes como por ejemplo redes LAN, WAN o de conmutación de

circuitos como ISDN. Al considerar el uso de un enlace satelital de datos, esta se constituye en parte de una red WAN basada en IP, lo que significa que para que exista comunicación se necesitan varios componentes: La Unidad de Control Multipunto MCU a la que se conecta una cámara de video, micrófonos y es manipulada por un computador personal con salida 10/100 BaseT que se conecta a un enrutador (router) que permite la comunicación con la Internet pues posee una dirección IP pública, la salida de este se conecta a un modem satelital donde se definen las velocidades de transmisión que pueden ser del orden de 64, 128, 256 Kbps hasta 2Mbps, niveles de energía de bit sobre ruido Eb/No, desviación máxima de frecuencia y tipo de modulación digital. Después de el modem satelital se encuentra el convertidor de enlace ascendente y descendente(up/down converter), el amplificador de potencia HPA y la antena parabólica que incluye un alimentador con un LNA para recepción, orientada al satélite proveedor del servicio de datos.

Para la implementación de una estación satelital de comunicación de datos se debe solicitar los servicios de un Portador de telecomunicaciones que es una empresa que posee autorización del Estado Ecuatoriano para la implementación de redes privadas de

datos con enlaces satelitales. Los Portadores legalmente registrados son los que poseen las direcciones IP públicas que se le asignan al cliente que contrata sus servicios y alquilan el ancho de banda a su vez a un Proveedor Satelital (INTELSAT, Panamsat, Satmex, etc.) que asigna al portador el transponder en el que debe trabajar.

El cliente del Portador contrata el ancho de banda (velocidad de transmisión) que convenga a sus intereses económicos o a la calidad de videoconferencia que desee. El servicio de videoconferencia puede ser temporal por lo que una vez que la misma se finaliza la red estación satelital se desmonta, o se contrata el servicio por un periodo mayor como puede ser el caso de una institución educativa que genera este tipo de videoconferencias.

En el caso de la antena parabólica de la FIEC, su diseño esta hecho para la recepción de señales de televisión satelital, es decir, puede ser utilizada para la recepción de tele conferencias, pero por su construcción se calculo una eficiencia de 55% que es insuficiente para un enlace satelital de datos en el que se utilizan antenas con eficiencias superiores al 70%. La eficiencia también depende del material que están hechas las antenas, pues las antenas mas caras

están construidas de aleaciones con conductividad mucho mayor que las de recepción de televisión satelital lo que les permite mayor reflexión de la energía al foco y viceversa lo que disminuye la refracción de ondas electromagnéticas en el material de la antena. La homogeneidad de la fabricación de las antenas utilizadas en enlaces satelitales contribuye a incrementar la eficiencia de la superficie pues disminuye la energía que se dispersa y no logra llegar al foco o saliendo de este, reflejarse adecuadamente para formar un frente de onda casi plano. La principal influencia de la eficiencia de la antena radica en la energía de bit sobre el ruido, mientras la antena sea mas eficiente para concentrar la energía, la energía de bit será mayor y esta relación se incrementará. Si E_b/N_0 es baja, muchos paquetes de datos llegarían con errores, por lo que según el protocolo IP, estos deben ser reenviados (duplicados). El porcentaje máximo de duplicados para que un enlace sea considerado aceptable es de 2 de cada 100. Si se presentan mas paquetes duplicados que ese valor se escuchara eco en la voz o se verán distorsiones en las imágenes reconstruidas como burbujeo o desorden de los bloques de imagen (8x8 píxeles)

Para convertir la Antena Parabólica de la FIEC en transmisora se debe aumentar la eficiencia de superficie, es decir cambiarla. Al momento no puede ser usada para videoconferencias, ya que según la ley de telecomunicaciones, estas se deben realizar a través de un Portador al que se contrata el ancho de banda necesario y es quien instala la estación satelital.

6.4. LABORATORIO DE TELECOMUNICACIONES: UNA NUEVA PRÁCTICA PARA ESTA MATERIA

Una de las aplicaciones de la antena parabólica y mejor dicho de la estación de recepción satelital de la FIEC es la de medir o verificar los conocimientos de la materia Comunicaciones Satelitales que consta en el pensum de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. Dado que, no estaba incluida una práctica exclusiva para este tópico en la Materia Laboratorio de Telecomunicaciones, consideramos conveniente, sugerir a las autoridades de nuestra Facultad , el Decano Ing Carlos Monsalve y los ingenieros Germán Vargas y Hernán Córdova profesores de dicha materia una practica que utilice la infraestructura implementada gracias al apoyo de proyecto VLIR y la FIEC y nuestro Director de

Tesis Ing. Marco Pazmiño B, quien esta dispuesto a prestar su colaboración para la optimización del sistema implementado.

Como se explicó en el capítulo 4, los elementos de la estación de recepción fueron dispuestos para que de una manera didáctica se pueda seleccionar la recepción de señal de televisión satelital en formato analógico ya sea NTSC o PAL y en formato digital bajo el estándar DVB-S para las bandas C y Ku polarización vertical u horizontal. De lo anterior podemos decir que nuestra tesis ha permitido a los estudiantes conocer todos los aspectos más destacados de la recepción de televisión satelital, lo que variará poco para una estación de recepción de una empresa de Televisión, notando que es un componente básico de las mismas sobre todo para conocer las noticias y sucesos que ocurren alrededor del mundo.

En la práctica incluimos un resumen teórico de la materia Comunicaciones Satelitales para que el estudiante, no olvide los aspectos más importantes de esta materia como lo son el diseño de antenas parabólicas cuyo extracto surgió del capítulo 2 de nuestra tesis, presupuesto de enlace descendente, orientación de antenas parabólicas que se explica en el capítulo 4, y nuevos conocimientos

como el estándar de televisión satelital DVB-S que se explica en el capítulo 3. Además se obtuvo información de otros documentos que constan en una pequeña bibliografía en el Resumen Teórico de dicha práctica.

Incluimos en esa práctica un Test de Evaluación del Resumen Teórico que se puede utilizar previo a la práctica, para que los estudiantes se preparen de mejor manera para la misma, conociendo todos los aspectos relacionados a la recepción de televisión satelital, incluyendo los datos que se pueden obtener de paginas de Internet especializadas para configurar los receptores satelitales como lo es: www.lyngsat.com de la cual se tomaron varios transponders para analizar los datos allí presentados. Durante la practica el estudiante deberá realizar mediciones de ángulos de inclinación y elevación por lo que un grupo deberá subir a la terraza de los laboratorios para realizar esas mediciones, consultar datos de satélites, comprobar la calidad de recepción de la señal, posicionar diferentes satélites y tomar datos , realizar cálculos de presupuesto de enlace y porcentajes de error y tablas para afirmar los conocimientos en esta materia. Los ayudantes del laboratorio deberán encargarse del mantenimiento y pruebas del sistema de recepción, por lo que es

conveniente que revisen también el resumen teórico previo a la práctica y así ayudar a los estudiantes durante la misma.

Al preparar esta práctica del Laboratorio de Telecomunicaciones, proponemos que los conocimientos obtenidos en las materias que hemos visto durante nuestros estudios, sean reforzados con experiencias prácticas reales, incluyendo nuevos conocimientos para que sean incorporados en la materia y de esta manera utilizar efectivamente la infraestructura implementada, manteniéndola, y mejorándola continuamente. Por consiguiente, la utilidad de la Reactivación de la Antena Parabólica de la FIEC queda también justificada.

6.5. EL SISTEMA COMO APOYO A LA CARRERA DE SISTEMAS

MULTIMEDIA

En Informática, Multimedia se define como la forma de presentar información como una combinación de texto, sonido, imágenes, animación y video. Entre las aplicaciones multimedia mas conocidas están los juegos, material de aprendizaje como tutoriales o enciclopedias. La mayoría de las aplicaciones incluyen asociaciones

predefinidas conocidas como hipervínculos, que permiten a los usuarios moverse por la información de manera intuitiva.

En la FIEC, la carrera de Sistemas Multimedia es una especialidad de Ingeniería en Computación que posee diversas materias de las cuales para efectos de dar una aplicación a nuestro proyecto se destacan dos: Procesamiento de Audio y Video con código FIEC-05413 y Procesamiento Digital de Imágenes con código FIEC-05439 que son materias básicas del pensum de la carrera. En sí, en estas materias se analiza los diferentes métodos para procesar imágenes y audio digitalmente, asimismo los sistemas de compresión de dichos elementos como es el caso de MPEG-2.

Como se explico en el capitulo 3 de esta tesis, la transmisión de televisión satelital se da mayoritariamente mediante el uso de formatos digitales, específicamente el formato DVB-S que utiliza para la compresión de video MPEG-2 y para la compresión de audio MUSICAM. Por consiguiente, la recepción de este tipo de señal desde los diferentes satélites que se pueden captar, constituye una valiosa oportunidad para demostrar una aplicación de la teoría explicada en las materias mencionadas. Incluso, se puede utilizar las

salidas de video del receptor digital para procesar las imágenes por medio de un computador, desde allí, las aplicaciones son vastas, se pueden editar programas, mezclar imágenes o producir algún tipo de programación.

La combinación de esfuerzos entre las carreras de Ingeniería en Telecomunicaciones y de Sistemas Multimedia podría producir excelentes resultados en cuanto al desarrollo de una propuesta de educación a distancia o aplicaciones para el beneficio de toda la comunidad Politécnica, combinando, programación educativa recibida mediante nuestra implementación, con un robusto sitio web dedicado a la educación a distancia, es decir, la Reactivación de la Antena Parabólica de la FIEC queda nuevamente justificada.

6.6. APLICACIONES FUTURAS DEL PROYECTO

El objetivo de haber propuesto este tema de tesis es el de que la ESPOL se encamine a implementar un canal de televisión educativa, por medio del cual se pueda beneficiar a la colectividad proveyendo cursos dirigidos a diversos niveles educativos pudiendo incursionar desde niveles básicos de educación hasta niveles superiores. La estación de recepción de televisión satelital es una parte importante

de cualquier canal de televisión pues le permite recibir programación desde otros países y a nivel educativo desde redes especializadas como ATEI. De manera que se mejore el nivel de educación de la colectividad generando por ejemplo cursos de nivelación en materias básicas como Matemáticas, Física y Química que son las bases para las carreras de Ingeniería y en las cuales se nota un déficit de conocimientos en los aspirantes a ingresar a nuestra Universidad, cursos de Contabilidad Básica en los que se enseñe como declarar impuestos, crear empresas e incorporar a un vasto sector de nuestra sociedad al comercio formal. Todos los ejemplos anteriores contribuirían al objetivo de la Extensión de la ESPOL. Pero dicho canal también podría ser usado para reforzar los conocimientos de los mismos estudiantes politécnicos y adicionalmente ofrecer programas de educación a distancia en los que se impartan las materias vía televisión.

Para crear un canal de televisión se debe solicitar al Estado ecuatoriano una concesión de frecuencia de televisión por medio del CONARTEL que es el Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión, quien estudiará la viabilidad del proyecto de acuerdo a las

disposiciones de la Ley de Radiodifusión y Televisión y su correspondiente Reglamento.

CAPITULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Desde el inicio de los trabajos para lograr los objetivos planteados por esta tesis hasta la culminación y sustentación de los mismos, se ha constituido en un período de valioso aprendizaje tanto en el ámbito técnico-científico como humano. Los conocimientos adquiridos en el transcurso de nuestros estudios fueron herramientas valiosas por medio de las cuales se pudo adquirir y asimilar los nuevos conocimientos que solo la experiencia de la realización de una tesis que requiere una implementación puede brindar. Obviamente luego de este trabajo esforzado tenemos conclusiones que plantear, de las cuales la gran mayoría coinciden con los objetivos planteados y que demuestran sobremanera la validez de nuestro tema.

Adicionalmente presentamos las recomendaciones pertinentes para que la implementación desarrollada brinde el servicio que la ESPOL y nuestra facultad esperan.

Basándonos en la teoría presentada en los capítulos previos concluimos que:

1. Para el desarrollo del rediseño, rehabilitación y puesta en funcionamiento de la Antena Parabólica de la FIEC se necesitaron los conocimientos adquiridos en las materias de Antenas y Propagación, Comunicaciones Inalámbricas y Satelitales y Teoría Electromagnética 2 los cuales fueron de primordial importancia para el calculo de la ganancia del sistema en función de las medidas físicas de la antena, el tipo de cable, alimentadores, LNB's, conectores, y receptores.
2. Adicionalmente con el desarrollo de investigación en temas relacionados al formato DVB-S por el cual se transmite televisión satelital digital en la actualidad ese formato, por su versatilidad y apego al método de compresión de imágenes de video MPEG-2, permite la transmisión de varios programas o flujos elementales empaquetados por medio de un mismo transponder, lo que redundo en reducción de la tasa de datos que se envían por medio de dicho transponder o la transmisión de mas

canales y señales de radio optimizando el uso del ancho de banda satelital que es sumamente costoso.

3. Fueron comprobados varios de los fenómenos que se dan en la propagación de ondas electromagnéticas como son la reflexión que se realiza en el plato parabólico y refracción cuando la señal atraviesa la atmósfera debido al cambio de medio de propagación. El fenómeno de interferencia debido a que los satélites propagan su señal en áreas tan grandes y en bandas similares que se ve compensada por la directividad de los sistemas de recepción que los hace capaces de enlazarse. La Difracción se da también en la antena debido a que no es un paraboloides de revolución perfecto y el alimentador no se encuentra precisamente en el foco de dicho paraboloides.
4. El uso de cables con impedancia característica de 75 ohmios es muy común y en ámbitos satelitales para largas distancias se usa el cable RG-11U y en distancias cortas se utiliza el cable RG-59U. También los conectores son fuentes de desacoplamiento o pérdidas de señal por lo que deben ser “climpados” adecuadamente para evitar dichos fenómenos.

De los aspectos prácticos desarrollados concluimos que:

1. Mediante el cambio realizado al rango de giro de la antena parabólica de la FIEC se incrementó el número de satélites cuya señal se puede captar, adicionalmente con el uso de un receptor satelital analógico para formato PAL y NTSC y otro digital para formato DVB-S se puede receptor señal de Televisión satelital en las bandas C y Ku, tanto en polarización horizontal, como en polarización vertical.
2. Para captar un satélite cualquiera se debe apuntar la antena tanto en acimut en inclinación y en elevación, los dos primeros ángulos son establecidos y fijados, luego solo se cambia el ángulo en elevación para captar un satélite en la orbita geoestacionaria. Se obtiene el ángulo de elevación del satélite de las paginas de Internet de los proveedores satelitales o de paginas especializadas como www.lyngsat.com, luego de varios cálculos geométricos que toman en cuenta la altura de la orbita geoestacionaria y el radio de la tierra se determina el valor que el inclinómetro debe medir, por supuesto, la implementación del posicionador controlado por computadora y su respectivo software facilitan aún mas esa tarea, lo que se constituye en una de la ventajas que nuestra tesis brinda.
3. Que la implementación de una estación satelital requiere de un cableado adecuado, el cual debe ser canalizado por el uso de ductería adecuada para evitar que la humedad limite la vida útil de los mismos.

4. No todos los satélites ubicados en el rango que nuestra antena puede captar tienen transmisiones hacia el Ecuador por lo que la consulta de las pisadas de los satélites es de importancia al momento de buscar captar una señal.
5. Los daños que sufrió la antena previo a nuestra reparación se debieron a la falta de mantenimiento preventivo y correctivo los que son de vital importancia para el funcionamiento adecuado del sistema. Por tal motivo anexamos el Manual de Mantenimiento y un Procedimiento de operación con el propósito que la inversión realizada sea aprovechada al máximo por la FIEC.
6. El uso del sensor de inclinación como medio de realimentación para el posicionamiento permite un ajuste mas exacto en elevación de lo que podría hacerlo los receptores que tienen posicionadores incorporados.
7. El acoplamiento de la interfase con el computador permite una visualización de la ubicación de la antena en tiempo real y el software implementado ayuda a esta tarea lo que permite una aplicación directa en el Laboratorio de Telecomunicaciones y evitar subir a la terraza donde se encuentra la antena para ajustar algún satélite que se desee captar.
8. La consecución de convenios entre la ESPOL e instituciones especializadas en televisión educativa es viable y seria de utilidad para los objetivos de nuestra universidad.

Al finalizar nuestro trabajo también tenemos algunas recomendaciones que realizar:

1. Recomendamos que la implementación realizada sea utilizada por el Laboratorio de Telecomunicaciones con el fin de que los estudiantes tengan experiencias prácticas en estaciones satelitales, cables, conectores y ajuste de antenas parabólicas.
2. Establecer convenios con ATEI y EDUSAT para el aprovechamiento de la estación satelital implementada y difundir programación educativa para los politécnicos, constituyéndose en uno de los primeros pasos para crear un canal de televisión politécnico y así beneficiar a toda la comunidad a la que la ESPOL se debe.
3. Incluir en el pensum de las materias de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones sólidas bases en formatos de televisión analógica pero sobretodo digital, pues los cambios que se avecinan requieren de aquellos conocimientos, además se debe incluir el procesamiento digital de imágenes para la máxima compresión de los tópicos citados anteriormente.
4. Modernizar el pensum de las Materias Sistemas Digitales 1, 2, Laboratorio de Digitales y Microprocesadores con el fin de que los

estudiantes posean conocimientos actualizados en el campo de los microcontroladores y dispositivos electrónicos programables. De esta manera los proyectos serian mas desafiantes no por el uso de mas circuitos integrados, sino por la calidad de los programas que sen encuentran en el interior de dichos dispositivos programables.

Iniciar desde el Ciclo Básico, la formación en lenguajes de programación visual, debido a las mayores prestaciones que estos brindan como por ejemplo Visual Basic.

APENDICES Y ANEXOS

A.1 PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DE LA ANTENA

A continuación listamos los pasos necesarios para realizar la operación del sistema implementado por nuestra Tesis:

1. Asegurarse de que los enchufes de la mesa de trabajo estén conectados al tomacorriente cercano a dicha mesa.

2. Conectar los receptores a la regleta que ha sido instalada para tal efecto detrás de la mesa de trabajo.
3. Asegurarse que este conectado el UPS que protege al computador que se encuentra en la mesa de trabajo.
4. Encender todos los equipos de recepción satelital así como el Televisor que cumple las funciones de monitor, encender el computador y asegurarse que el cable que alimenta a la interfase se encuentra conectado.
5. Encender el computador y luego de que el sistema operativo se haya cargado, hacer doble clic en el icono SATTRACKER que se encuentra en el escritorio para inicializar el software que se utiliza la interfase de posicionamiento para movilizar la antena parabólica.
6. Ingresar el usuario y la contraseña, e ingresar al menú del programa y seleccione el comando para movilizar la antena.
7. Escoja de la lista el satélite al cual desee posicionar, si no esta ingresado, salga de esa ventana y escoja en el menú la opción para ingresar un nuevo satélite, llene el formulario con los datos del satélite y repita el procedimiento desde el ingreso al menú y luego escogiendo el comando para movilizar la antena.
8. Una vez que la antena se encuentre posicionada seleccione la banda de operación y la polaridad necesaria para captar los canales usando

los conmutadores A-B que para tal efecto se han instalado en la mesa de trabajo.

9. Si el canal deseado no puede ser sintonizado, remitirse al manual del receptor satelital correspondiente para la configuración de canales.
10. Buscar en la dirección de Internet www.lyngsat.com el listado actualizado de los satélites y los canales que transmiten, recuerde que solo pueden ser abiertos los canales libres de pago tanto en formato digital como analógico.
11. Si desea cambiar de satélite solo necesita seleccionar un nuevo satélite de la lista que posee el programa SATTRACKER repitiendo el procedimiento listado desde el ítem número 7 del presente hasta el número 10.
12. En caso de fallas, remitirse a las especificaciones y directrices listadas en el Manual de Mantenimiento.
13. En caso de dudas o comentarios, dirigirlos hacia los ayudantes académicos del Laboratorio de telecomunicaciones, a los profesores de dicho laboratorio o a las personas que para efectos de la operación de este sistema, la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación tenga a bien designar.

A.2. MANUAL DE MANTENIMIENTO



Sistema de Recepción Satelital

Antena Parabólica FIEC-ESPOL

Manual de Mantenimiento

Recomendaciones:

1. Antes de iniciar algún procedimiento de mantenimiento ***deberá leer detenidamente las instrucciones del presente manual*** para realizarlo adecuadamente.
2. Luego de leer este manual siga las instrucciones, ***la inobservancia de advertencias, procedimientos o sugerencias, son de responsabilidad exclusiva de quienes lo hacen.***

Precaución:

La ubicación de la antena y sus accesorios en la terraza de los Laboratorios de la FIEC implica el uso de escaleras; es necesario evitar accidentes mediante el uso de zapatos adecuados que eviten resbalones o caídas. ***El personal encargado del mantenimiento debe prestar la debida atención a su trabajo para evitar daños personales por golpes o caídas.***

Advertencia:

Por ningún concepto, personal no calificado realizará procedimientos de mantenimiento en el Sistema de Recepción satelital, la no atención a esta advertencia implica que la FIEC, la ESPOL y quienes implementaron el

Sistema de recepción satelital no son responsables por daños o malfuncionamiento de los componentes del sistema o daños personales, inclusive a terceros.

Definiciones

Sistema Parabólico:

Es un conjunto de partes que incluyen un paraboloide de revolución como superficie reflectora, un alimentador, amplificadores de bajo ruido, motor, sistema de engranajes, receptores electrónicos , divisores de señal, y sistemas electrónicos de movilización. Su función es recibir señales provenientes del satélite, amplificarlas, decodificarlas para alguna aplicación.

Sensor:

Es un dispositivo encargado de detectar alguna variación de algún parámetro físico, sea este temperatura, movimiento, inclinación, etc.

Sistema de control con realimentación:

Es un conjunto de dispositivos que permiten manipular un proceso, de manera que se obtenga la salida deseada, para ello se toman muestras de la salida para variar la respuesta del sistema de manera automática.

Receptor Satelital:

Es un equipo electrónico que permite recibir señales satelitales comúnmente de televisión ya sea en formatos digital o analógico, muchos de ellos poseen un sistema de posicionamiento electrónico, pero no posee realimentación.

Interfase electrónica:

Es un circuito electrónico que permite interconectar dos circuitos electrónicos diferentes, como por ejemplo, una interfase entre un driver de motor y un computador.

Power Divider:

Es un elemento que divide una señal en dos con una atenuación de 3.5 dB es decir la mitad de la amplitud de la señal que ingresa, también son conocidos como splitters y algunos poseen tres o cuatro salidas

Conmutador A-B:

Es un dispositivo por el cual se puede seleccionar a la salida una de dos señales de entrada, se utiliza para cambiar la señal de una antena a la de TV cable o la señal de banda C o de banda Ku.

Inclinómetro:

Dispositivo usado para determinar la inclinación de un elemento medida en grados. Puede ser un encontrado como un sensor cuya salida de voltaje o corriente varia proporcionalmente a al ángulo de inclinación.

Microcontrolador:

Es un dispositivo electrónico que contiene un microcomputador, es decir, están empaquetados en un chip un microprocesador, memoria RAM, y ROM, puertos de entrada salida, convertidores A/D, entre otros , con el propósito de almacenar un programa, en virtud del cual variarán sus salidas con respecto a las entradas.

Cables:

Son elementos por medio de los cuales se transporta la señal, en si son líneas de transmisión, comúnmente coaxiales con impedancias características de 50 o 75 ohmios, dependiendo de su construcción presentan mayores o menores atenuaciones que se miden en dB/m. El modelo utilizado en el Sistema de Recepción satelital es RG11 marca Belden.

Motor Driver:

Es un circuito electrónico que permite manejar los voltajes y corrientes adecuados que son suministrados a un motor sea AC o DC. Tiene entradas de control que se conectan a microcontroladores o PLC's. Las señales ya sean analógicas o digitales se aíslan de este circuito, comúnmente con acopladores ópticos, que evitan que la circuitería de control sea afectada por la conmutación de voltajes o corrientes elevadas suministradas al motor.

Mantenimiento Preventivo

En el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM (Mejoramiento Continuo de la Calidad), existen el Mantenimiento Preventivo, el Mantenimiento Predictivo y el Correctivo. El mantenimiento preventivo es el desarrollo de una serie de procedimientos para asegurar la vida útil de un equipo, en este caso del sistema de recepción satelital. Es necesario aclarar que este tipo de mantenimiento debe ser periódico, por lo que recomendamos que se realice por lo menos cada **seis meses**.

Procedimiento para realizar un mantenimiento preventivo

Como se menciona anteriormente, la vida útil del sistema depende de la realización de un mantenimiento preventivo, por lo que, siga el procedimiento sugerido para tener resultados óptimos.

De las herramientas._ Antes de realizar esta tarea se necesita herramientas y accesorios como cinta auto fundente, cinta adhesiva, destornilladores Phillips y planos, pinzas, cortadora, playo, amarras plásticas y llaves si posee un juego llaves de dado sería sumamente conveniente, multímetro,

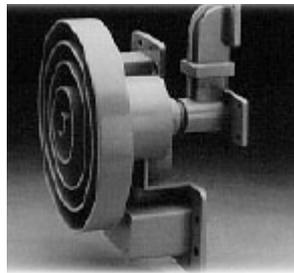
escaleras (Telescópica y de tijera) para llegar a la ubicación de la antena, lubricantes como WD-40 y grasa, spray limpiador de contactos y waípe.

Pasos a seguir:

1. Ubicar la antena en el límite Este con el comando de la interfase electrónica en el computador, de esta manera, se tiene más fácil acceso al alimentador donde se encuentran los LNB (Eso será lo primero en revisarse). Las uniones entre conectores y cables en los LNB deben estar bien protegidos contra la humedad, si encuentra alguna de estas uniones con cinta desgarrada o mal puesta, utilice primero cinta auto fundente, envuelva bien de tal forma que no se vean los conectores asegurándonos de que no podrá entrar la humedad. Después utilice cinta adhesiva aislante para asegurar la protección.



2. Luego de proteger los conectores contra la humedad, debemos revisar el alimentador, para eso, sacamos la tapa plástica azul, que tiene como propósito evitar que entren objetos llevados por el viento (hojas, polvo) en la cavidad del alimentador, con un poco de wipe limpiamos el polvo que haya podido entrar, sin tocar las terminaciones de la guía de onda.



3. Cerramos el alimentador, y revisamos los alambres que mantienen centrado el alimentador, si notamos alguna descalibración, se debe mover los tornillos de sujetan dichos alambres a la superficie parabólica.
4. Nuestro interés se debe centrar en lubricar la cremallera, para eso utilizaremos grasa, la que aplicaremos a la cadena y a la catalina que se contacta a esta. Utilizaremos spray WD-40 para lubricar el reductor de velocidad y los engranes dentro del motor eléctrico DC de movilización, aplicaremos WD-40 a los tornillos para evitar que se traben y sea difícil sacarlos en el próximo mantenimiento. Cabe

señalar que esta lubricación con el WD-40 no es permanente por lo que se debe aplicar grasa que resista los efectos de la intemperie.



5. Revisamos posteriormente la estructura, si existen evidencias de oxidación sobre todo en las partes críticas como la cremallera o el reductor de velocidad procederemos a pintarlos nuevamente, la pintura que se debe utilizar es esmalte anticorrosivo color blanco.



6. Inspeccionamos el cableado de la estación, que posee ducteria propia, debemos comprobar que no ingrese la humedad al ducto y que los cables no se deformen.



7. Luego de realizar el mantenimiento a la antena, debemos comprobar que el sensor de inclinación esta ubicado correctamente, en el caso

de que se haya movido, se reajustara su posición con la marca que existe para ese efecto.

8. El mantenimiento preventivo continua en la planta baja del edificio, los cables deben llegar a la mesa de trabajo sin ser deformados, de manera que no exista la perdida de alguna señal . En la mesa revisaremos el cableado interno, si algún conector esta flojo o suelto lo ajustaremos, limpiándola de polvo o humedad para asegurarnos que la señal llegue a los receptores de manera optima.



9. Utilice spray limpiador de contactos, si nota que existe oxidación, la humedad hace que se pierda la señal que es amplificada por los LNB.

10. Los conmutadores A-B deben ser limpiados con spray limpiador de contactos.
11. Regrese la antena a un ángulo en el que exista un satélite, le recomendamos posicionarse en Panamsat 9 58°W. Revisamos la señal tanto en banda C vertical y en banda C horizontal
12. En el caso de banda Ku nos ubicamos en el satélite Hispasat 1C 30° W y probamos polarización horizontal y vertical. Es necesario probar la calidad de recepción de cada uno de los receptores sean el **analógico** o el **digital**, en caso de malfuncionamiento, **remítase a los manuales respectivos.**
13. El televisor debe ser limpiado para evitar que el polvo entre y produzca daños posteriores. Es necesario que el usuario siga las instrucciones de los manuales que deben estar en posesión del operador, así como este manual.
14. Finalmente, la mesa de trabajo debe mantenerse limpia de manera que el polvo no entre a los componentes del sistema.

15. Adicionalmente se recomienda la poda de los árboles circundantes a los laboratorios y que están cerca de la antena parabólica para evitar daños mecánicos y falta de recepción de la señal.

Mantenimiento Correctivo

Es el desarrollo de reparaciones en el sistema debido al deterioro o malfuncionamiento de alguno de sus componentes. Este tipo de mantenimiento implica la separación de varios de sus elementos por lo que, mientras este se realiza, el sistema se encontrara no operativo.

A continuación mostramos los problemas más comunes y sus soluciones.

Troubleshooting

- El receptor satelital no enciende.

Revisar si esta conectado al tomacorriente.

Revisar si existen 110v en el tomacorriente

- La antena no se moviliza:

Puede ser que el programa no se haya ejecutado, de ser ese el caso haga doble clic en el Icono SATTRACKER, si el programa esta inhibido, reiniciar la computadora. Luego revisar si el cable de la interfase esta correctamente conectado, revisar los cables de control del motor que salen de la interfase para

saber si están correctamente conectados a la misma, de ser así, revisar la tarjeta utilizando un multímetro con prueba de diodos, voltímetro y ohmetro. Probar las fuentes de alimentación de +5V y de +36 V DC, luego probar el manejador del motor.

Si la circuitería electrónica, el cableado, y el software funcionan, se debe revisar la mecánica del sistema, primero revisar el estado de la cadena de la cremallera, luego el reductor de velocidad, y luego el motor, de ser este el dispositivo dañado, es probable que necesite un cambio de carbones.

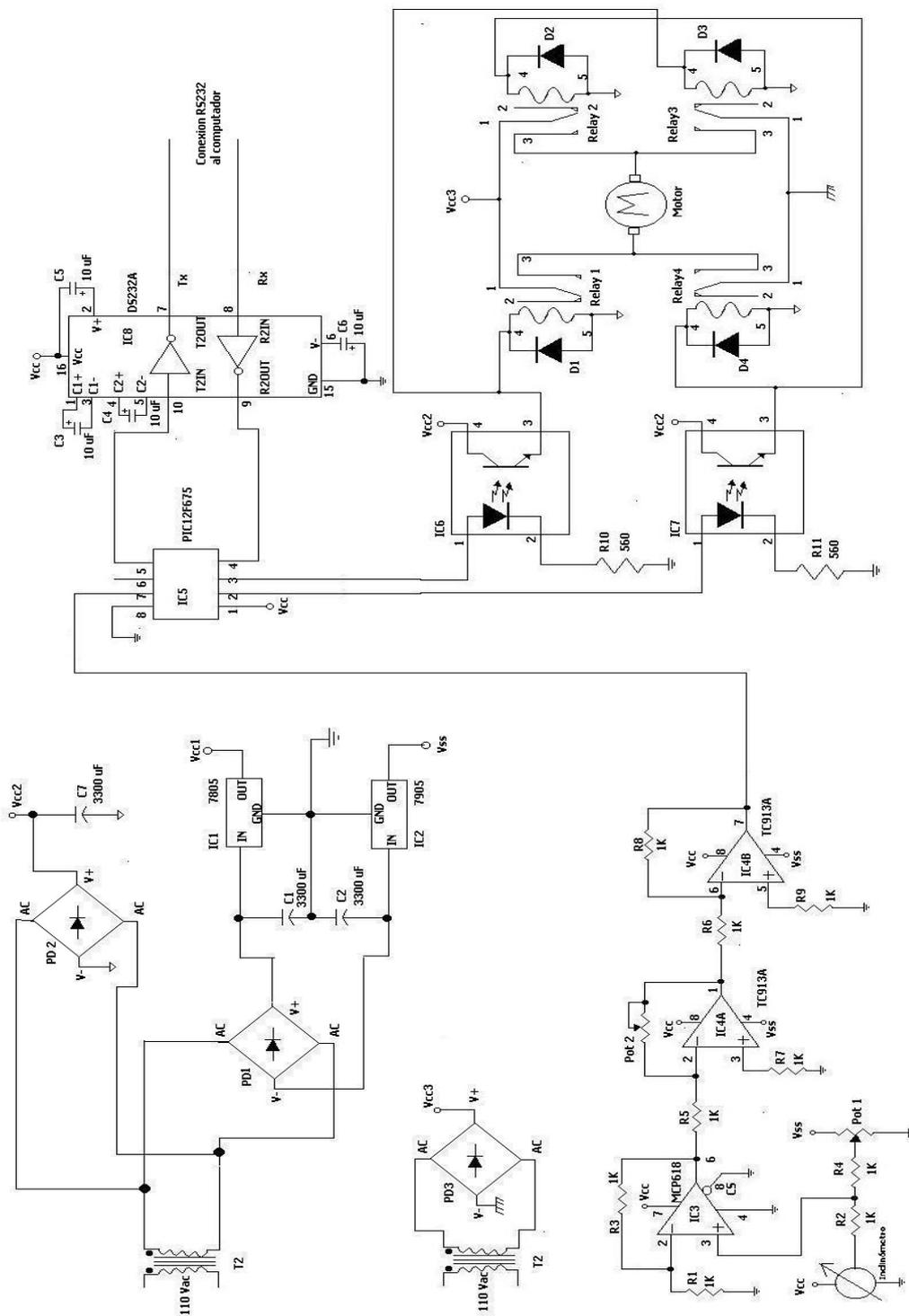
- No se recibe señal desde el satélite:

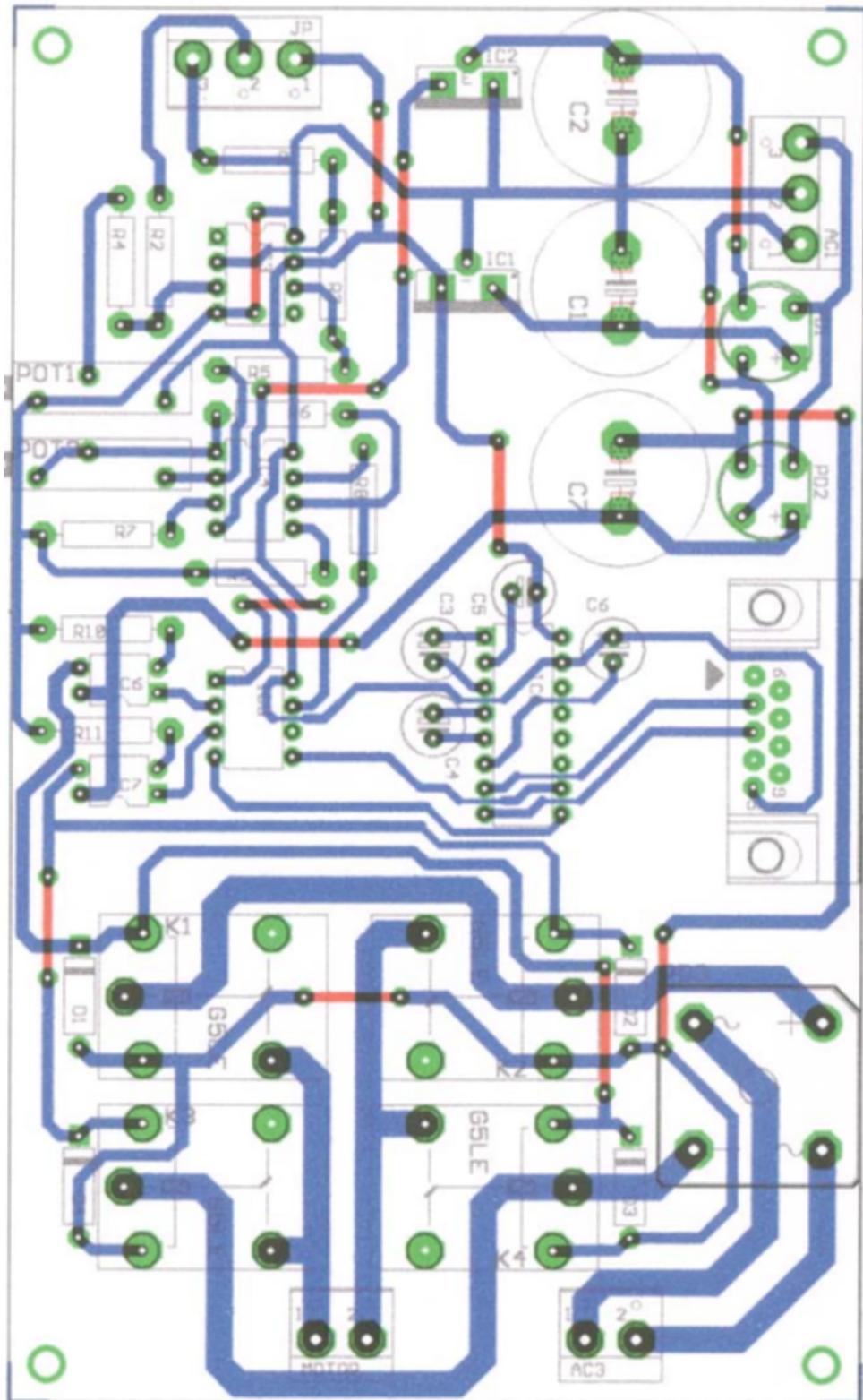
Asegurarse de que el ángulo de elevación de la antena corresponde al ángulo de ubicación del satélite, en ciertas ocasiones los satélites se desplazan unas cuantas décimas de grados de su ubicación, busque el satélite en un rango de unos pocos grados, si es el operador autorizado, modifique la ubicación del satélite en el software.

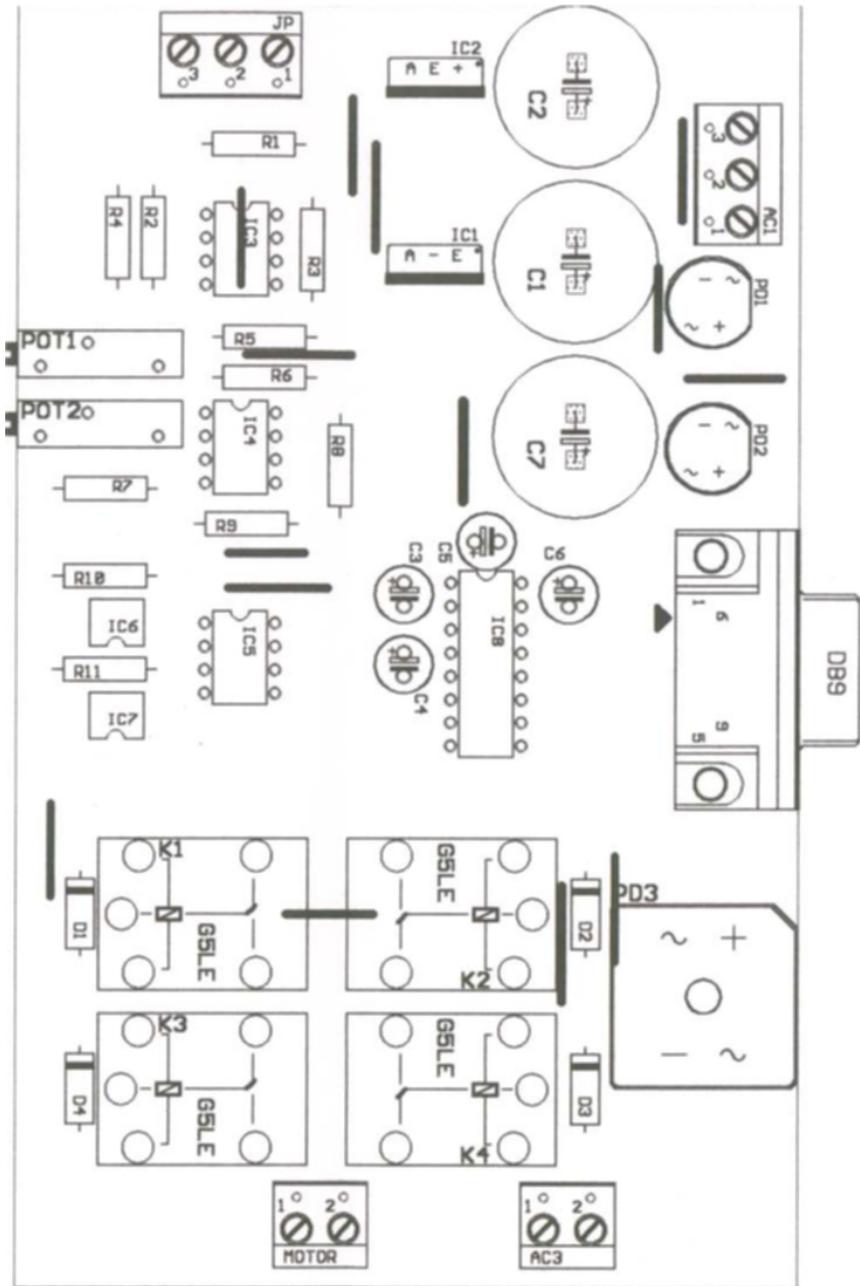
Asegurarse de que la polaridad y banda seleccionada son adecuados, de ser así, revisar los conmutadores A-B. Si los cables, los splitters y los conmutadores A-B se encuentran en buen estado, revisar los LNB y sus conexiones con los respectivos cables.

Ciertas ocasiones los satélites suspenden sus transmisiones de manera temporal por lo que si no se recibe la señal de un satélite pero si la de los otros puede ser que haya ocurrido lo anteriormente mencionado, por lo que es necesario esperar y no modificar la ubicación del satélite.

Asegurarse que los árboles que circundan a los Laboratorios y que se encuentran cerca de la antena hayan sido podados como se indica en las instrucciones de mantenimiento preventivo.







ABREVIATURAS Y SIGLAS

FIEC	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
C	Banda de frecuencias satelitales 4-8 GHz
Ku	Banda de frecuencias satelitales 11-14 GHz
ATEI	Asociación de Televisión Educativa Iberoamericana
EDUSAT	Cadena de Educación Satelital de México
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
c	Velocidad de la luz
Hz	Unidad de medida de frecuencia(ciclos por segundo)
RMS	Raíz Media Cuadrática
P	Densidad de Potencia
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
AM	Amplitud Modulada
VHF	Muy alta frecuencia (Very High Frequency)
UHF	Ultra Alta Frecuencia (Ultra High Frequency)
MF	Frecuencia Media
HF	Alta frecuencia
IR	Infrarrojo
UV	Ultravioleta
dB	Decibel
VSWR	Relación de Onda Estacionaria ROE
f/D	Relación Foco a Diámetro
LNA	Amplificador de Bajo Ruido
LNB	Amplificador de Bajo Ruido con convertidor descendente incorporado
LNC	Convertidor de Bajo Ruido

LNBF	Amplificador de Bajo Ruido con alimentador Incorporado
DirectTV	Sistema de distribución de televisión satelital
Tx	Transmisión
Rx	Recepción
PSK	Modulación por cambio de fase(Phase Shift Keying)
RTG	Generador Radio térmico Isotropico
GEO	Orbita Geosíncrona Estacionaria
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones
FCC	Comisión Federal de Comunicaciones USA.
MEO	Orbita Terrestre Media
LEO	Orbita Terrestre Baja
Kbps	Kilo bits por segundo (Velocidad de Transmisión)
INTELSAT	Organización Internacional de Telecomunicaciones Vía satélite
OSI	Organización de estándares Americana
HPA	Amplificador de alta Potencia
DVB	Difusión de video Digital
FEC	Corrección de errores hacia delante
DCF	Frecuencia del convertidor descendente
UCF	Frecuencia del convertidor ascendente
FDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia
SCPC	Canal Único por portadora
MCPC	Canales Múltiples por portadora
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo
CDMA	Acceso Múltiple por División de Código
Gr/Te	Figura de Mérito de una estación receptora satelital
PIRE	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
dBW	Decibeles por Vatio

ATSC	Advanced Television Systems Committee
DVB-T	Difusión de video digital terrestre
DVB-S	Difusión de video digital satelital
DVB-C	Difusión digital de video por cable
MPEG-2	Grupo de expertos en figuras en movimiento
PES	Flujo elemental empaquetado
PS	Flujo de programa
TS	Flujo de transporte
PMT	Tabla de mapa de programa
QPSK	Modulación por cambio de fase en cuadratura
GPS	Sistema de posicionamiento Global
DoD	Departamento de Defensa de USA
UTM	Coordenadas de Tiempo Universal
CLIRSEN	Centro de Levantamientos Integrados de Recursos naturales por Sensores Remotos
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INOCAR	Instituto Nacional de Oceanografía de la Armada del Ecuador
SNR	Relación Señal a Ruido
Eb/NO	Relación de Energía de Bit a Densidad de Ruido
C/N	Relación Portadora a Ruido
ISI	Interferencia Inter. Simbólica
PM	Modulación de Fase
TWT	Tubo de Onda Viajera
SCPA	Amplificador de Potencia de Estado Sólido
RF	Radiofrecuencia
IF	Frecuencia Intermedia
IRD	Receptor Decodificador Integrado

PAL	Alternación de Fase por línea (Europa)
NTSC	Comité Nacional de Estándares de Televisión (USA)
PVC	Polivinilo Carburo
EIA	Asociación de Industrias Electrónicas (USA)
ASCII	Código Normalizado Americano para el Intercambio de Información
MSB	Bit mas significativo
LSB	Bit menos significativo
CPU	Unidad Central de Procesamiento
RISC	Computador con set de instrucciones reducido
CISC	Computador con set de instrucciones complejo
ROM	Memoria de Solo Lectura
RAM	Memoria de Acceso Aleatorio
CMOS	Circuitos Complementarios Metal Oxido- Semiconductor
TTL	Lógica Transistor a Transistor
A/D	Convertidor Analógico a Digital
D/A	Convertidor Digital a Analógico
MCU	Unidad de Control Multipunto
RDSI	Red Digital de Servicios Integrados ISDN
IP	Protocolo de Internet
LAN	Red de Area local
WAN	Red de Area amplia
VLIR	Proyecto de las Universidades Vascas (Bélgica)
CONARTEL	Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión

BIBLIOGRAFÍA

- 1 Libro: Antennas Autor : Lamont V. Blake (Ondas electromagnéticas y antenas)
- 2 Libro: Digital Communications Fundamentals and Applications Autor: Bernard Sklar (Interferencia y ruido)
- 3 Libro: Communications Services Via Satellite Autor: G.E. Lewis (Polarización, Líneas de Transmisión)
- 4 Libro: Satellite Communication Systems Engineering Autores: Wilbur Pritchard y Joseph Sciulli (Interferencia y Ruido, Orbitas, Componentes Basicos de Satelites,)
- 5 Antenas con Reflectores Parabólicos Autor: Néstor E. Arias Laboratorio de Telecomunicaciones I. E. E . U.N.T. (Reflectores Parabólicos)
- 6 Antenas Autor: Miguel Ferrando, Alejandro Valero Universidad Politécnica de Valencia (Antenas y fundamentos)
- 7 Glosario de Términos y abreviaciones de uso frecuente en sistemas Satelitales Autor Ing. Marco Pazmiño (Material utilizado en seminario de Diseño de Antenas IEEE-ESPOL Diciembre 2002).
- 8 Diseño y construcción de antenas parabólicas para trasmisión en la Banda X. Capitulo 4 Formato pdf.
- 9 Sitio oficial en Internet de la Asociación Iberoamericana de Televisión Educativa ATEI www.atei.es.

- 10 Televisión Digital vía Satélite DVB-S Autores: María José Alonso Cuevas-Mónica Casas Lago (Universidad de Vigo). Formato pdf.
- 11 Hoja de Datos del alimentador marca Chaparral modelo Bullseye II Formato pdf.
- 12 Enciclopedia Microsoft Encarta 2000 (Tema: Sistemas Multimedia).
- 13 Diagrama de Flujo de la Carrera de Ingeniería en Computación, especialidad Sistemas Multimedia(Vigente desde II Término 2003-2004)
- 14 Montaje de Video Conferencias y Equipos de Sonido Autor: Plan de Alfabetización Tecnológica de Extremadura. Formato pdf.
- 15 Manual de Implementación de Videoconferencias CISCO (Chapter Overview) Formato pdf.
- 16 Hoja de Datos Polycon ViewStation EX (características de MCU para videoconferencias) Formato pdf.
- 17 Consideraciones Técnicas sobre Videoconferencia (Ing. José Palomino Martínez) Formato pdf.
- 18 PIC12F675 Hoja de datos de microcontrolador (Microchip) Formato pdf.
- 19 MCP619 Hoja de datos de amplificadores operacionales con offset compensado (Microchip) Formato pdf.
- 20 PIC16F876 Hoja de datos de microcontrolador (Microchip) Formato pdf.