



**Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**

**SISTEMA DE COMUNICACIÓN ALTERNO PARA LA  
INTERCONEXIÓN DEL SISTEMA DE RADAR, DE LOS  
AEROPUERTOS INTERNACIONALES LA AURORA Y TIKAL**

**Edson Gerardo Barrios Ochaeta**

Asesorado por el Ing. Boris Oswaldo Mejía González

Guatemala, junio de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMA DE COMUNICACIÓN ALTERNO PARA LA  
INTERCONEXIÓN DEL SISTEMA DE RADAR, DE LOS  
AEROPUERTOS INTERNACIONALES LA AURORA Y TIKAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**EDSON GERARDO BARRIOS OCHAETA**

ASESORADO POR EL ING. BORIS MEJÍA GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, JUNIO DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Adolfo Villeda Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Edgar Neptaly Carrera Díaz
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **SISTEMA DE COMUNICACIÓN ALTERNO PARA LA INTERCONEXIÓN DEL SISTEMA DE RADAR, DE LOS AEROPUERTOS INTERNACIONALES LA AURORA Y TIKAL,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 8 de Febrero de 2003.

Edson Gerardo Barrios Ochaeta

## **AGRADECIMIENTO A:**

**DIOS**

Por llevarme de su mano todos estos años.

**MI ESPOSA LUZANY**

Por su apoyo y dedicación.

**MIS PADRES**

Por su gran amor y sacrificio.

**MI FAMILIA**

Por su apoyo.

**LA UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Por la oportunidad de adquirir mayores conocimientos.



## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XIX</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>XXI</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XXIII</b>
<b>1. SISTEMA DE COMUNICACIONES ENTRE LOS AEROPUERTOS INTERNACIONALES LA AURORA Y TIKAL</b>	
1.1 Historia.....	1
1.2 Evolución.....	2
1.3 Especificaciones del sistema de comunicación por enlaces de microondas.....	3
1.4 Frecuencias del sistema de comunicación por enlaces de microondas.....	6
1.5 Ventajas del sistema de comunicación por enlaces de microondas.....	7
1.6 Desventajas del sistema de comunicación por enlaces de microondas.....	8
<b>2. PRINCIPIO Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES</b>	
2.1 Sistema de comunicaciones.....	9
2.2 Desarrollo del sistema de comunicaciones.....	10
2.3 Características del sistema de comunicaciones.....	10
2.3.1 Comunicación alámbrica.....	11
2.3.2 Comunicación inalámbrica.....	11
2.3.3 Sistema de comunicación analógico.....	11
2.3.4 Sistema de comunicación digital.....	11
2.4 Comunicación por microondas.....	12

2.5	Enlace de comunicación por microondas.....	12
2.6	Sistema de comunicación por microondas.....	13
2.7	Antena de microondas.....	14
2.7.1	Tipos de antenas.....	14
2.7.2	Antena reflectora parabólica.....	15
2.7.2.1	Ancho del haz.....	17
2.7.2.2	Eficiencia de la antena parabólica ( $\eta$ ).....	18
2.7.2.3	Ganancia de potencia de la antena parabólica.....	18
2.7.3	Influencia del lugar de colocación de la antena.....	19
2.7.4	Diversidad.....	20
2.7.4.1	Diversidad de frecuencia.....	20
2.7.4.2	Diversidad de espacio.....	21
2.7.4.3	Diversidad de polarización.....	22
2.7.5	Margen de desvanecimiento.....	22
2.8	Características de la trayectoria de propagación de ondas.....	24
2.8.1	Trayectoria de línea vista u onda directa.....	25
2.8.2	Trayectoria de onda reflejada a tierra.....	25
2.8.3	Trayectoria de onda de superficie.....	25
2.8.4	Onda de cielo.....	25
2.9	Ganancia del sistema.....	26
2.10	Comunicación por satélite.....	26
2.11	Satélite.....	27
2.11.1	Satélites orbitales.....	28
2.11.2	Satélites geoestacionarios.....	28
2.11.3	Aplicaciones de los satélites.....	29
2.11.3.1	Satélites científicos.....	29
2.11.3.2	Satélites astronómicos.....	29
2.11.3.3	Satélites metereológicos.....	29
2.11.3.4	Satélites de comunicaciones.....	30

2.11.4.5	Satélites de navegación.....	30
2.11.4.6	Satélites de observación o espías.....	30
2.12	Sistema de comunicación por satélite.....	30
2.13	Subsistemas del satélite de comunicación.....	31
2.14	Estación terrena.....	32
2.14.1	Antena de estación terrena.....	32
2.14.2	Angulo de elevación de la estación terrena.....	32
2.14.3	Azimut.....	33
2.14.4	Tormentas solares.....	33
2.15	Enlace de comunicación satelital.....	33
2.16	Transpondedor del satélite.....	35
2.17	Banda de frecuencias para los satélites de comunicación.....	37
2.18	Técnicas de acceso al satélite de comunicación.....	38
2.18.1	Acceso múltiple por división de frecuencia.....	38
2.18.2	Acceso múltiple por división de tiempo.....	39
2.18.3	Acceso múltiple por división de código.....	40
2.18.4	Acceso múltiple con asignación por demanda.....	40

### **3. COMPARACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR ENLACES DE MICROONDAS CON UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR SATÉLITE**

3.1	Bandas de frecuencias utilizadas en las comunicaciones.....	41
3.2	Banda C frente a Banda Ku.....	42
3.3	Confiabilidad de los sistemas de comunicación por microondas.....	43
3.4	Confiabilidad de los sistemas de comunicación por satélite.....	44
3.5	Ventajas de la comunicación por enlaces de microondas.....	45
3.6	Desventajas de la comunicación por enlaces de microondas.....	46
3.7	Ventajas de la comunicación por satélite.....	47
3.8	Desventajas de la comunicación por satélite.....	48
3.9	Comparación de los sistemas de comunicación.....	49

<b>4. DESCRIPCIÓN DEL RADAR Y EQUIPOS AUXILIARES</b>	
4.1 Historia del radar.....	51
4.2 Radar primario (PSR).....	52
4.3 Radar secundario (SSR).....	52
4.3.1 Modos de interrogación de radar secundario.....	53
4.3.2 Transpondedor.....	53
4.4 Comparación del radar primario con el radar secundario.....	54
4.5 Descripción del sistema radar primario ASR-10SS.....	55
4.5.1 Descripción funcional del radar primario ASR-10SS.....	56
4.6 Sistema de radar secundario monopulso ISR-20.....	57
4.6.1 Descripción del sistema radar secundario monopulso ISR-20.....	59
4.6.2 Descripción del sistema de relojería central horaria.....	61
4.6.3 Descripción de la unidad de control y supervisión.....	61
4.7 Sistema de comunicaciones radar.....	62
4.8 Sistema de vigilancia para el control de tráfico aéreo (CTA).....	63
4.9 Sistema de Radar Aeropuerto Internacional La Aurora – Tikal.....	63
4.10 Elementos que componen la cabecera de radar y el centro de control.....	64
<b>5. SISTEMA SATELITAL COMO SISTEMA DE COMUNICACIÓN ALTERNO</b>	
5.1 Interconexión actual del sistema de radar.....	67
5.2 Cómo funciona actualmente la interconexión.....	69
5.3 Requerimientos del sistema de radar.....	71
5.4 Sistema de comunicación satelital como propuesta de solución.....	72
5.5 Requerimientos para la comunicación con el satélite.....	74
5.6 Operadores de satélites que brindan los servicios de comunicación.....	75
5.7 Propuesta del operador de satélite para realizar la interconexión.....	76
<b>CONCLUSIONES</b> .....	79
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	81
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	83
<b>ANEXO</b> .....	85

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Diagrama de bloques del Radio Harris Quadralink en un enlace.....	3
2. Diagrama de bloques del Radio Harris Quadralink como repetidor de enlace.....	4
3. Red de enlaces por microondas Aeropuerto Internacional La Aurora – Tikal.....	5
4. Diagrama de bloques de un sistema de comunicación.....	10
5. Antena de UHF y microondas.....	16
6. Sistema de microondas con diversidad de frecuencia.....	20
7. Sistema de microondas con diversidad de espacio.....	21
8. Diagrama de las superficies de la tierra.....	23
9. Trayectorias de propagación de estación A hacia estación B.....	24
10. Orbitas del satélite.....	27
11. Enlace de comunicación satelital.....	34
12. Transmisión de los pulsos P1, P2, y P3 en la interrogación del radar.....	58
13. Transmisión de los pulsos F1, F2, SPI del transponder de la aeronave.....	58
14. Sistema radar secundario monopulso IRS-20.....	59
15. Interconexión del sistema de radar por enlaces de microondas.....	69
16. Interconexión del sistema de radar por enlace satelital.....	73
17. Interconexión de los centros de control.....	77

## TABLAS

I. Frecuencias autorizadas por la Superintendencia de Telecomunicaciones.....	6
II. Frecuencias del enlace de comunicación por microondas La Aurora-Tikal.....	6
III. Banda de frecuencias de comunicación.....	37
IV. Bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico.....	41
V. Modos de interrogación del radar secundario.....	57
VI. Costos de operación del actual enlace de microondas por año.....	70
VII. Coordenadas de ubicación de los Centros de Control.....	74
VIII. Ancho de banda del enlace de comunicaciones por microondas.....	75

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\theta$	Ancho de haz entre puntos de media potencia (grados).
$\lambda$	Longitud de onda (metros).
$K$	Constante para una parábola determinada (metros).
$c$	Velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$ metros/segundo).
$\phi_0$	Ancho del haz entre nulos en el patrón de radiación (grados).
$\eta$	Eficiencia de la antena.
$f$	Frecuencia (hertz).
$\mu s$	Microsegundos ( $1 \times 10^{-6}$ ).
$A_p$	Ganancia de potencia con relación a una antena omnidireccional.
$cm$	Centímetro (1 cm = 10 mm).
$D$	Diámetro de la boca del reflector parabólico antena (metros).
$dB$	Decibeles.
$E1$	Señal digital de datos a 2048 Kbps.

<b>E2</b>	Señal digital de datos a 8448 Kbps.
<b>E3</b>	Señal digital de datos a 34368 Kbps.
<b>Eb/No</b>	Relación de la densidad de energía de bit a ruido.
<b>FP</b>	Factor de potencia.
<b>FX</b>	Longitud de foco de la parábola (metros).
<b>G</b>	Ganancia.
<b>GHz</b>	Gigahertz (1 GHz = $10^9$ Hz).
<b>G/T</b>	Relación ganancia a temperatura de ruido de la antena.
<b>KHz</b>	Kilohertz (1 KHz = $10^3$ Hz).
<b>Kbps</b>	Kilo bits por segundo (1 Kbps = $10^3$ bps).
<b>Km</b>	Kilómetro (1 Km = $10^3$ mts).
<b>KVA</b>	Kilo Volta Amperios.
<b>Mbps</b>	Mega bits por segundo (1 Mbps = $10^6$ bps)
<b>MHz</b>	Megahertz (1 MHz = $10^6$ Hz).

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ATP</b>	Camino de atenuación.
<b>BER</b>	Valor de la tasa de error.
<b>CC</b>	Centro de control.
<b>CCITT</b>	Comité consultivo para telefonía y telegrafía internacional.
<b>CNR</b>	Control no radar.
<b>CR</b>	Cabecera de radar.
<b>CTA</b>	Control de tráfico aéreo.
<b>DDE</b>	Formato de transmisión de datos radar.
<b>DGAC</b>	Dirección General de Aeronáutica Civil.
<b>DISPLAY</b>	Indicación visual de cualquier dispositivo informativo, medida, etc.
<b>FEC</b>	Corrección de error hacia delante.
<b>FI</b>	Frecuencia intermedia.
<b>GPS</b>	Sistema mundial de posicionamiento.
<b>HPA</b>	Amplificador de alta potencia.
<b>IPBO</b>	Respaldo de la potencia de entrada.
<b>ISLS</b>	Supresión de lóbulos laterales en interrogación.
<b>LAN</b>	Red de área local.
<b>LNA</b>	Amplificador de bajo ruido.
<b>LNB</b>	Bloque de bajo ruido.

<b>OACI</b>	Organización Internacional de Aviación Civil
<b>OPBO</b>	Respaldo de la potencia de salida.
<b>PIRE</b>	Potencia equivalente irradiada isotrópica.
<b>PLOT</b>	Presentación radar de la posición de una aeronave mediante PSR, SSR o ambos.
<b>PSR</b>	Radar primario de vigilancia.
<b>RACK</b>	Armario o bastidor donde están alojados los equipos.
<b>RF</b>	Radio frecuencia.
<b>SCR/L</b>	Sistema de comunicaciones radar local.
<b>SCR/R</b>	Sistema de comunicaciones radar remoto.
<b>SFD</b>	Densidad de flujo de saturación.
<b>SLG</b>	Sistema local de gestión.
<b>SRG</b>	Sistema Remoto de Gestión.
<b>SSR</b>	Radar secundario de vigilancia
<b>UCS</b>	Unidad de control y supervisión.
<b>UTC</b>	Tiempo universal coordinado.
<b>UTS</b>	Unidad de test y supervisión.
<b>USAT</b>	Terminal de apertura muy pequeña.
<b>VSAT</b>	Terminal de apertura pequeña.

## GLOSARIO

<b>Amperio</b>	Unidad básica de intensidad de corriente eléctrica, cuyo símbolo es A.
<b>Amplificador</b>	Dispositivo que aumenta la amplitud, o potencia, de una señal eléctrica.
<b>Ancho de banda</b>	La diferencia entre la frecuencia más alta y la más baja de un canal de transmisión, medido en ciclos por segundo (hercios, Hz). También se denomina ancho de banda a la cantidad de datos que se pueden transmitir en determinado período de tiempo, por un canal de transmisión, expresado en bits por segundo (bps).
<b>Antena</b>	Elemento utilizado para propagar o recibir las radiaciones de ondas electromagnéticas.
<b>Antena direccional</b>	Elemento utilizado para propagar o recibir las radiaciones de ondas electromagnéticas, con mayor intensidad hacia una dirección específica que hacia el resto de direcciones.
<b>Antena omnidireccional</b>	Elemento utilizado para propagar o recibir las radiaciones de ondas electromagnéticas, con igual intensidad en todas las direcciones.
<b>Antena reflectora</b>	Elemento utilizado para producir un haz equivalente a la óptica. En la mayoría de los casos se ilumina la superficie

“refleitora” de la antena, mediante una fuente de radiaciones de ondas electromagnéticas.

<b>Asterix</b>	Formato que define una serie de campos de datos estándar, a los que se asignan los correspondientes elementos de información para la transmisión de datos.
<b>Atenuación de onda</b>	La reducción en la densidad de potencia con la distancia, es equivalente a la pérdida de potencia.
<b>Automatización</b>	Operación o control automático de un proceso, dispositivo o sistema.
<b>Circuito eléctrico</b>	Es una interconexión de elementos eléctricos unidos entre sí, en una trayectoria cerrada de forma que pueda fluir continuamente una corriente eléctrica.
<b>Codificación</b>	Modificación de una señal bajo ciertas reglas, con el fin de reducir los errores en la recuperación para que sea idéntica.
<b>Conmutación</b>	Es la acción de uno o más interruptores, activarse o desactivarse en un circuito.
<b>Convertidor de frecuencia</b>	Equipo encargado de convertir una señal de frecuencia a otra frecuencia específica.
<b>Decodificación</b>	Recuperación de una señal que ha sido modificada bajo ciertas reglas.

<b>Demodulación</b>	Es el proceso inverso de la modulación, es decir la onda modulada se convierte nuevamente a su forma original.
<b>Desvanecimiento</b>	Es la reducción de la fuerza de la señal recibida entre una antena transmisora y el receptor.
<b>Directividad</b>	Se le conoce a la máxima ganancia directiva.
<b>Display</b>	Indicación visual de cualquier dispositivo informativo, medida, etc.
<b>Enlace satelital</b>	Se compone de tres secciones: enlace de subida (Uplink) (estación terrena transmisora a transpondedor del satélite), transpondedor del satélite (repetidor de RF) y enlace de bajada (Downlink) (transpondedor del satélite a estación terrena receptora).
<b>Filtro pasa-banda</b>	Circuito que idealmente dejará pasar libremente todas las frecuencias de un intervalo seleccionado y rechazará todas las frecuencias fuera de ese intervalo.
<b>Frecuencia</b>	Término empleado para indicar el número de veces que se repite en un segundo cualquier fenómeno periódico. Se expresa en hercios (Hz); una frecuencia de 1 Hz. significa que existe un ciclo u oscilación por segundo.
<b>Frecuencia intermedia</b>	Frecuencia que siempre es inferior a la frecuencia de RF, debido a que es más fácil y menos costoso construir

amplificadores estables de alta ganancia para las señales de baja frecuencia.

<b>Ganancia de antena</b>	Forma de medir la antena el aumento de la densidad de potencia transmitida (efectiva), que haya sido radiada en determinada dirección, por comparación a la densidad de potencia que hubiera sido radiada desde una antena isotrópica (expresada en dB).
<b>Interferencia</b>	Señal indeseada que degrada la señal transmitida.
<b>Interrogador</b>	Elemento transmisor de un sistema SSR de base terrestre.
<b>Lóbulo</b>	Lóbulo principal del haz de radiación de una antena en una dirección definida.
<b>Lóbulo lateral</b>	Lóbulo del diagrama de radiación de una antena, que no es parte del haz principal.
<b>Longitud de onda</b>	La longitud que ocupa un ciclo de una onda electromagnética en el espacio, y es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda y directamente proporcional a la velocidad de propagación de la luz.
<b>Microonda</b>	Ondas electromagnéticas de radio situadas entre los rayos infrarrojos (cuya frecuencia es mayor) y las ondas de radio convencionales. Su longitud de onda va aproximadamente desde 1 mm. hasta 30 cm.

<b>Módem</b>	Término inglés Modem, es un acrónimo de ‘modulador/demodulador’. Equipo, externo o interno (tarjeta módem), utilizado para la comunicación a través de líneas de transmisión de voz y/o datos.
<b>Modulación</b>	Es el proceso de transformar información de su forma original a una forma más adecuada para la transmisión.
<b>Monopulso</b>	Es la capacidad de un sistema para determinar la dirección de llegada de una señal de radar recibida, usando sólo un pulso de dicha señal.
<b>Multicanalización</b>	Es el proceso de combinar la información en una señal de información compuesta.
<b>Multiplexación</b>	Es el proceso de combinar varias señales a una sola, utilizando ciertas reglas y posteriormente recuperarlas en forma independiente.
<b>Órbita</b>	Patrón de movimiento que sigue un cuerpo a través del espacio, bajo la influencia de fuerzas de atracción o repulsión de un segundo cuerpo.
<b>Plot</b>	Presentación radar de la posición de una aeronave mediante PSR, SSR o ambos.
<b>Polarización</b>	Dirección de orientación del campo eléctrico radiado desde la antena en forma lineal (horizontal o vertical), elíptica, o circular.

<b>Portadora</b>	Señal que provee el transporte de otra señal de menor frecuencia al combinarse apropiadamente.
<b>Radar en ruta</b>	Radar de vigilancia para el tránsito que pasa por el área de control. Ordinariamente, el alcance de tales radares es aproximadamente de 370 km. (200 MN) y el régimen de renovación de la información en una antena mecánicamente rotativa es de ocho a doce segundos.
<b>Radio frecuencia</b>	Frecuencia transmitida que proviene de la señal de radio, equipos o componentes que operan a esa frecuencia de radio.
<b>Rack</b>	Armario o bastidor donde están alojados los equipos.
<b>Repetidoras de enlaces</b>	Estaciones intercaladas en una ruta de transmisión para restituir a su estado inicial las señales atenuadas, en caso de emplazamientos distantes.
<b>Respuesta</b>	Tren de impulsos recibidos en una estación terrestre SSR como resultado de una interrogación SSR con éxito.
<b>Router</b>	Los caminos (routers) son equipos inteligentes que facilitan la interconexión de diferentes tipos de redes de ordenadores.
<b>Ruido</b>	Señales indeseables de diversas frecuencias que afectan a una señal de utilidad.

<b>Semiconductor</b>	Conductor electrónico cuya resistividad está entre los metales y los aislantes.
<b>Señal</b>	Función del tiempo con valor real; forma de onda que conduce la información.
<b>Señal senoidal</b>	Forma de onda que varía de acuerdo a una función del tiempo seno o coseno.
<b>Sistema</b>	Interconexión de elementos y circuitos eléctricos para lograr un determinado objetivo.
<b>Sistema de comunicaciones</b>	Se basa en comunicar información entre dos o más estaciones, para transmitirla se convierte la información de la fuente original a energía electromagnética, y después de recibida se convierte de nuevo a su forma original.
<b>Sistema de radar secundario de vigilancia</b>	Un sistema radar que transmite interrogaciones codificadas a transpondedores de aeronaves, en diversos modos y que recibe respuestas codificadas.
<b>Teledetección</b>	Técnica empleada para obtener información a distancia sobre objetos y zonas de la superficie de la tierra, basada fundamentalmente en el análisis de las imágenes obtenidas.

**Técnicas de acceso  
al satélite**

Debido a que el satélite posee un límite de capacidad, existen ciertas normas bajo las cuales uno o más usuarios pueden acceder y utilizar el ancho de banda de un transpondedor.

**Transmisión por radio**

Transmisión de mensajes por medio de ondas electromagnéticas radiadas, diferentes de las ondas térmicas o luminosas.

**Transpondedor o  
respondedor**

Receptor-transmisor activo capaz de recibir una señal proveniente de un transmisor y retransmitirla hacia uno o más receptores.

**Trayectoria de  
propagación**

Camino o recorrido a seguir una señal radiada entre el punto de transmisión A y el punto de recepción B.

**Unix**

Sistema operativo multiusuario que incorpora multitarea, orientado a estaciones de trabajo y servidores, dispone de la interfaz gráfica X-Windows.

**X-25**

Interfaz de usuario estándar para el acceso a la red de comunicación de paquetes y se dirige sólo a las capas físicas, de enlace de datos y de red en el modelo de siete capas de ISO.

## RESUMEN

En la actualidad, Guatemala cuenta con un moderno sistema de radar que permite brindar información, al Control del Tráfico Aéreo, sobre la identificación, el rumbo, la altitud, velocidad y trayectoria a seguir de la aeronave, así como su estimado de tiempo de vuelo. Esto ofrece una mayor seguridad y cobertura a las aeronaves que circulan en el espacio aéreo de la región.

Dicho sistema de radar empezó a funcionar a finales del año 2000. Contando con radar primario y secundario para el Aeropuerto La Aurora, y un radar secundario para el Aeropuerto Tikal. Los radares en ambos aeropuertos pueden funcionar independientemente, sin embargo, por medio de la interconexión se puede obtener una mayor cobertura de la región. Y es por esto que se utiliza un Sistema de Comunicación por Enlaces de Microondas para realizar dicha interconexión.

El Sistema de Comunicación por Enlaces de Microondas, está formado por varias repetidoras de enlace ubicadas a lo largo de los departamentos de Guatemala, Alta Verapaz y Petén. Estas repetidoras de enlace, por estar ubicadas en los puntos más altos de los departamentos mencionados, son altamente propensas a malas condiciones meteorológicas. Frecuentemente, se ven afectadas por descargas eléctricas, así como la alta concentración de neblina y en algunos casos por fuertes corrientes de aire que provocan la desalineación de las antenas.

También se ven afectadas por la deficiencia en el suministro de energía eléctrica comercial. Todo esto provoca la interrupción de la interconexión causando la reducción de la cobertura en la navegación aérea.

A manera de prevenir dicha situación, es necesario contar con un sistema de comunicación que funcione como sistema alterno. Es decir, que dicho sistema entrará a

funcionar cuando la interconexión se vea interrumpida. Evaluando los diferentes sistemas de comunicación, el que más se adecúa es el Sistema de Comunicación Satelital, debido a que presenta muchas ventajas en su implementación.

Es necesario contar con el Sistema de Comunicación Satelital como sistema alternativo, ya que esto permite corregir las deficiencias que se presentan en la interconexión, brindando así, mayor confiabilidad en la navegación aérea. Sin lugar a duda, es importante tomar en cuenta que dicha confiabilidad ofrece mayor apertura a las aerolíneas nacionales e internacionales, creando mayores relaciones comerciales y muchas otras ventajas para Guatemala.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Abordar el tema de la seguridad para la navegación aérea en la región a través de los radares Aurora y Tikal.

### **Específico**

Plantear una posible solución a la deficiencia de la interconexión de los radares Aurora y Tikal por medio de un Sistema de Comunicación Alternó.



## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicación que actualmente se encuentran disponibles, nos proporcionan grandes ventajas para el desarrollo de nuestras actividades, permitiéndonos estar en constante comunicación e intercambio de información por medio de voz, datos y video.

La presente tesis expone la necesidad de contar con un sistema de comunicación alternativo, para la comunicación entre los Radares Aurora y Tikal, a través de una interconexión de los Centros de Control que se encuentran ubicados en el Aeropuerto Internacional La Aurora y Aeropuerto Internacional Tikal. Esta interconexión actualmente se lleva a cabo por medio de un sistema de comunicación por enlaces de microondas propio de la D.G.A.C.. Debido a sus deficiencias de operación, es necesario contar con un sistema alternativo que actúe como respaldo para evitar la interrupción de la interconexión.

Este trabajo, pretende dar a conocer el sistema actual por el cual están interconectados los Aeropuertos La Aurora y Tikal. Presenta conceptos e información básica sobre el sistema de comunicación por enlaces de microondas. Evalúa sus deficiencias y propone como solución, la implementación de un sistema de comunicación satelital, como sistema alternativo. Plantea las ventajas y desventajas del sistema satelital y los posibles operadores para proporcionar dicho servicio.

En la actualidad las comunicaciones satelitales, están a la orden del día, ofreciendo tecnología de punta para optimizar la comunicación. Razón por la cual es importante aprovechar esa ventaja y utilizarla para mejorar el sistema de comunicación entre los Radares Aurora y Tikal, ya que esto implica mayor seguridad y mejores oportunidades para la navegación aérea en la región.



# **1. SISTEMA DE COMUNICACIONES ENTRE LOS AEROPUERTOS INTERNACIONALES LA AURORA Y TIKAL**

## **1.1 Historia**

Durante la década de los años ochenta, la Dirección General de Aeronáutica Civil necesitaba, para el desempeño de las comunicaciones de la Navegación Aérea en la región, que los Aeropuertos Internacionales la Aurora y Tikal estuvieran conectados a través de una línea directa de comunicaciones. Para ello, los departamentos de Telecomunicaciones del Aeropuerto la Aurora y Tikal, realizaron un estudio donde se evaluaba la posibilidad de adquirir un sistema de comunicaciones. La empresa SOFREAVIA, originaria de Francia, fue la encargada de realizar el proyecto, que consistía en un sistema de comunicación por microondas compuesto por varias repetidoras de enlaces ubicados a través de los departamentos Petén, Alta Verapaz, y Guatemala.

Este sistema, estando en funcionamiento operó adecuadamente, a pesar de las deficiencias por la falta de energía eléctrica en algunas repetidoras de enlace, las cuales se alimentaban con energía solar. También afectaban las condiciones meteorológicas en zonas propensas a las lluvias y descargas eléctricas, así como la dificultad de acceso a las repetidoras de enlace. Tomando en cuenta el contexto político del conflicto armado interno que se vivía para esos años y las fallas de equipos, mencionadas anteriormente, no fue posible mantener el buen funcionamiento y confiabilidad en el sistema de comunicación. Debido a esto, se optó por adquirir una línea directa, por medio de la empresa Guatél, para mantener la comunicación entre los Aeropuertos. Esto llevó a la pérdida de interés en mantener funcionando adecuadamente dicho sistema de comunicación, hasta quedar completamente fuera de servicio.

## **1.2 Evolución**

En la década de los años noventa la DGAC para mejorar la seguridad y confiabilidad en la Navegación Aérea de la región, se vio en la necesidad de contar con un Radar más moderno que con el que contaba para ése momento. Este nuevo Radar cumpliría con la función de monitorear y dirigir constantemente a las aeronaves, que transitaban en toda la región, en su ruta o hacía su destino. Para ello, el Departamento de Radar y el Departamento de Telecomunicaciones del Aeropuerto Internacional La Aurora realizaron un estudio que tenía como proyecto la instalación de un nuevo Radar en el Aeropuerto Internacional La Aurora y el primer Radar en el Aeropuerto Internacional Tikal, conformando así, el nuevo Sistema de Radar. Dichos aeropuertos debían estar interconectados para su funcionamiento a través de un Sistema de Comunicaciones con capacidad para mantener la comunicación entre ellos.

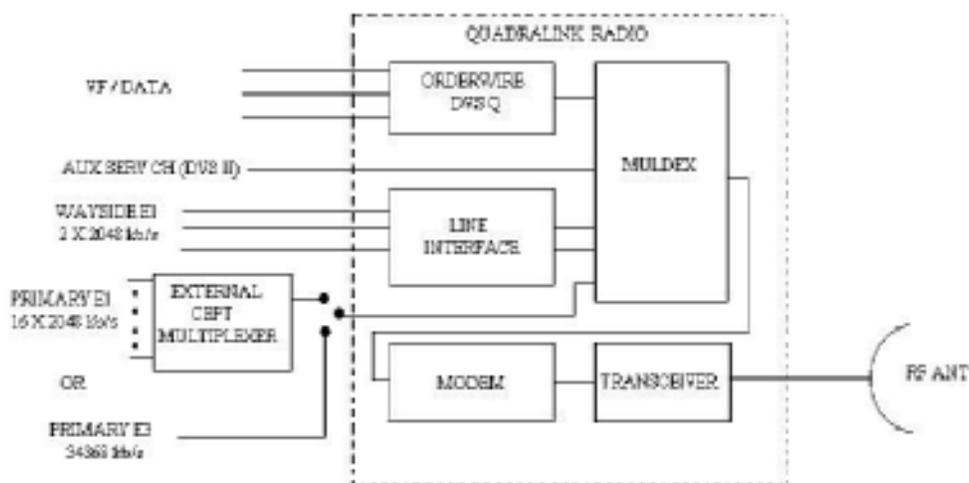
Este proyecto fue adjudicado a la empresa INDRA SISTEMAS, originaria de España, a través de una licitación. Se realizó la instalación de un radar en cada Aeropuerto y una red de enlaces por microondas para su interconexión. Siendo estos: Santa Elena-San Andrés, San Andrés-Purúsila, Purúsila-Sabanetás, Sabanetás-Sayáxche, Sayáxche-Xúcaneb, Xúcaneb-Palencia, Palencia-Guatemala.

El Sistema de Radar entró en operación en diciembre del 2001 con tecnología de punta, dando mayor seguridad y confiabilidad a la navegación aérea en la región. Estos radares pueden operar individualmente pero requieren de la interconexión para obtener cobertura en todo el país, sur de México, Belice, Honduras y El Salvador. La red de enlaces por microonda ha operado con deficiencia por diversos factores que se han presentado en las repetidoras de enlace. Tal como son: irregularidad en el suministro de energía eléctrica, servicio y mantenimiento a plantas de emergencia, aires acondicionados, condiciones meteorológicas en algunas zonas, caminos de accesos, falla de equipos, etc., que imposibilitan su buen funcionamiento, por lo que se sugiere contar con un sistema alternativo de comunicaciones para evitar la pérdida de la interconexión entre los Radares.

### 1.3 Especificaciones del Sistema de Comunicación por Enlaces de Microondas

El Sistema de Comunicación por Enlaces de Microondas está integrado por ocho estaciones de enlace, seis como repetidoras de enlace. Cada estación esta formada por una torre donde está montada la antena transmisora/receptora. Contiene un grupo electrógeno de 25 KVA con su sistema de transferencia automática, un rack de baterías que proporciona los 24 voltios necesarios para alimentar los equipos y permitir una operación ininterrumpida. Cuenta también, con un sistema de aire acondicionado que proporciona la temperatura adecuada para los equipos. Así como, un sistema de protección en caso de falla del equipo, y un sistema de protección para descargas eléctricas. En el caso de las repetidoras que se encuentran distantes una de la otra, se cuenta con diversidad de espacio para evitar la degradación de la señal de comunicación. En cada estación de enlace se encuentran instalados Radios Harris Quadralink de fabricación Canadiense, con comunicación digital por microondas, que pueden operar en la banda de 2 GHz a 8 GHz, como se ilustra en la Figura 1. Dicho equipo cuenta con capacidad de transmisión de datos a 34368 Kbps, dos canales de 2048 Kbps y cuatro canales digitales de servicio.

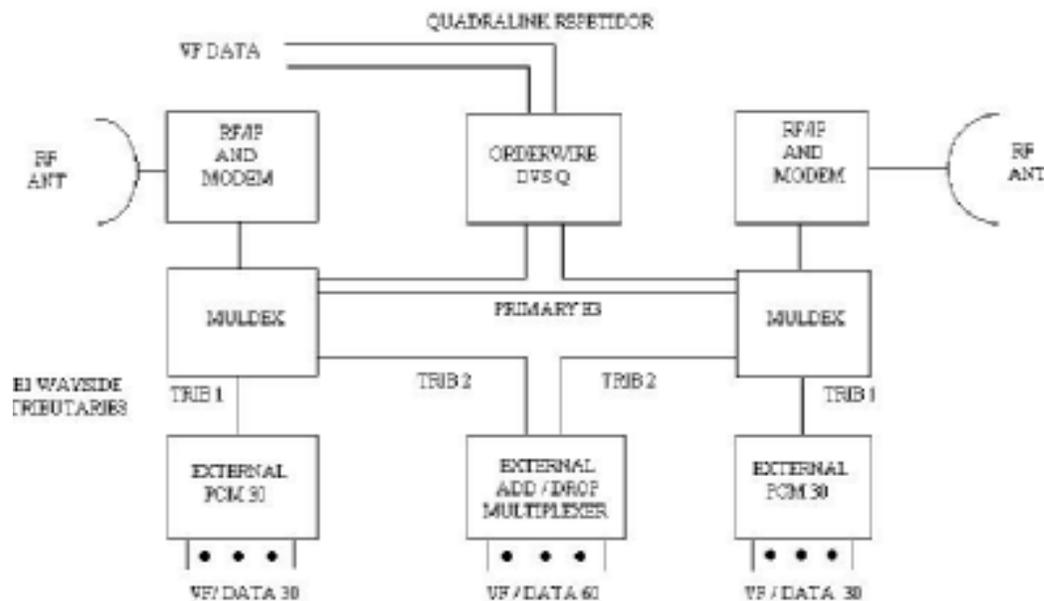
**Figura 1. Diagrama de bloques del Radio Harris Quadralink en un enlace**



Fuente: Adaptada de Instruction Manual Harris Quadralink Digital Radio

La recomendación CCIT G.703 permite que la interfase a 34368 Kbps, a través del CEPT MULTIPLEXER, conecte un E3 y cumpla con la función de proveer interfaces de tráfico de datos a 2048 Kbps para cada canal. En los sitios donde se tienen estaciones repetidoras de enlace, estos equipos están configurados como lo muestra la figura 2.

**Figura 2. Diagrama de bloques del Radio Harris Quadralink como repetidor de enlace**

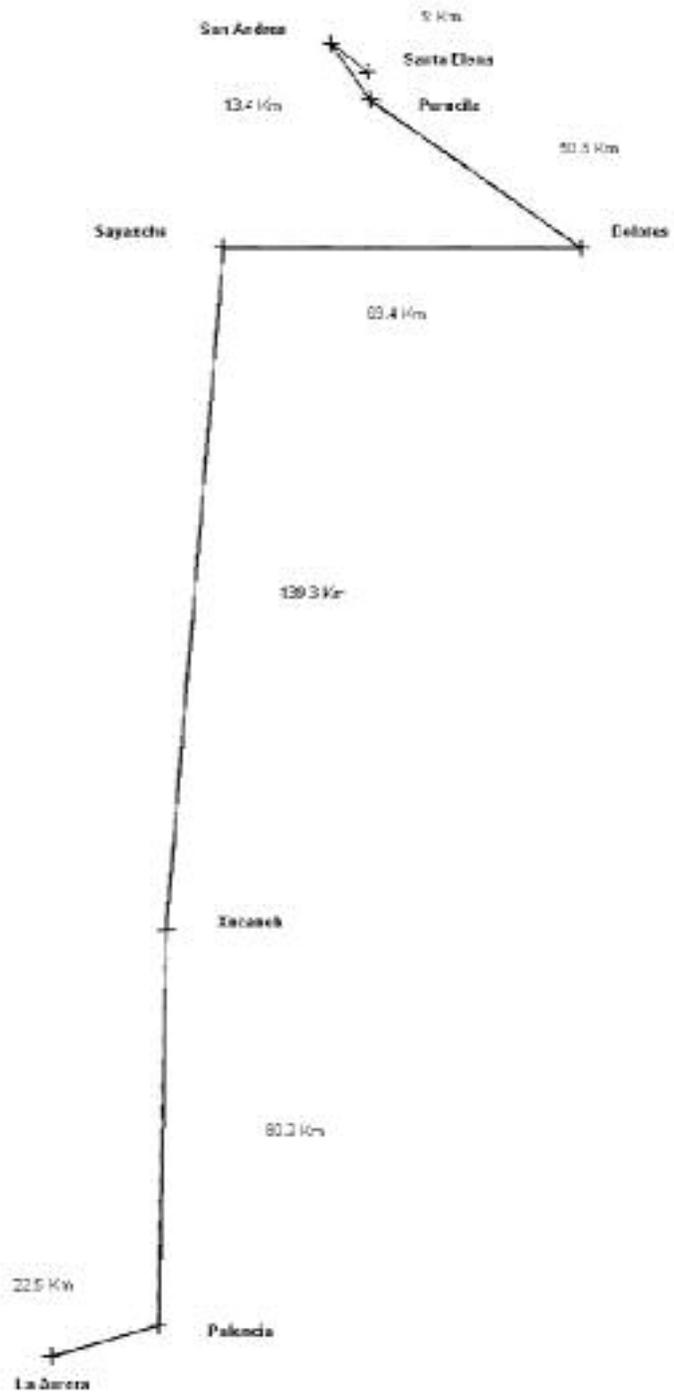


Fuente: Adaptada de Instruction Manual Harris Quadralink Digital Radio

Para las rutinas de mantenimiento preventivo/correctivo, el panel frontal posee un display que permite visualizar el estado del equipo, las alarmas y configuraciones, además puede monitorearse y chequearse remotamente desde una central a través de una PC.

El equipo esta compuesto por varios módulos, los cuales a su vez, cuentan con su propio respaldo, por lo tanto, en el caso que fallara alguno, automáticamente entra en operación el que se encuentra en reserva.

**Figura 3. Red de Enlaces por Microondas Aeropuerto Internacional  
La Aurora – Tikal**



#### 1.4 Frecuencias del Sistema de Comunicación por Enlaces de Microondas

La Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala, autorizó con una duración de 5 años prorrogables y una Potencia efectiva máxima de radiación de 20 Watts, el uso de las siguientes frecuencias para la red de enlaces por microondas.

**Tabla I. Frecuencias autorizadas por La Superintendencia de Telecomunicaciones**

<b>Limite Inferior (MHz)</b>	<b>Limite Superior (MHz)</b>	<b>Frecuencia Central (MHz)</b>
2,046.0	2,060.0	2,053.0
2,060.0	2,074.0	2,067.0
2,215.0	2,229.0	2,222.0
2,229.0	2,243.0	2,236.0

**Tabla II. Frecuencias del Enlace de Comunicación por Microondas La Aurora-Tikal**

<b>Estación</b>	<b>Estación</b>	<b>Frecuencia (MHz)</b>	<b>Frecuencia (MHz)</b>	<b>Diversidad de Espacio</b>	<b>Distancia (Kms)</b>
La Aurora	Palencia	1,714.50	1,832.50	No	22.9
Palencia	Xúcaneb	2,222.00	2,067.00	No	80.2
Xúcaneb	Sayáxche	1,714.50	1,832.50	Sí	139.3
Sayáxche	Sabanetás	2,067.00	2,222.00	Sí	69.4
Sabanetás	Purúsila	1,714.50	1,832.50	Si	50.6
Purúsila	San Andrés	2,222.00	2,067.00	No	13.4
San Andrés	Santa Elena	1,714.50	1,832.50	No	9.0

La Superintendencia de Telecomunicaciones permitirá la utilización de las frecuencias 1,714.50 MHz y 1,832.5 MHz que están fuera del rango, mientras la DGAC actualice sus equipos a las frecuencias asignadas.

## **1.5 Ventajas del Sistema de Comunicación por Enlaces de Microondas**

1. Permite la reutilización de las frecuencias, las cuales se pueden volver a utilizar en repetidoras de enlaces no adyacentes.
2. Permite la diversidad de espacio, para obtener mayor distancia entre las repetidoras de enlace.
3. En cada repetidora de enlace, el módulo principal del equipo permite, a través de un display, la visualización del estado de la estación, alarmas y su configuración.
4. Permite el monitoreo y chequeo del funcionamiento de cada repetidora de enlace desde una central remota de monitoreo, siempre y cuando no se rompa el enlace.
5. La mayor parte de los módulos que lo integran son redundantes, lo que permite operar el que está en reserva en caso de que fallara el operativo.
6. En caso de que algún dispositivo fallara, permite su fácil reemplazo.

## **1.6 Desventajas del Sistema de Comunicación por Enlaces de Microondas**

1. Descargas eléctricas; ya que estas repetidoras de enlace se encuentran ubicadas en las zonas más altas, se presentan a menudo en épocas de invierno.
2. Condiciones Climáticas; estas provocan degradación de la señal cuando hay mucha lluvia ó niebla, se presentan a menudo en épocas de invierno.
3. Deficiencia en el suministro de energía eléctrica por los constantes cortes y regulación de voltaje en algunas repetidoras de enlace.
4. Alto costo en el mantenimiento de Aires Acondicionados, Plantas de Emergencia incluyendo su sistema de transferencia automática y consumo de combustible.
5. Mayor costo en sistemas de protección para descargas eléctricas, mantenimiento y reemplazo de módulos dañados.
6. Mayor costo en pago a personal técnico para mantenimientos preventivos y correctivos, así como también personal de guardianía en cada repetidora de enlace.

## 2. PRINCIPIO Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES

### 2.1 Sistema de Comunicaciones

Se denomina “Sistema” al conjunto de componentes o dispositivos físicos que interactúan entre sí, admiten señales de entrada, la transforman y generan otras señales a su salida.

Cuando dos o más usuarios que se encuentran distantes y quieren entablar una comunicación, necesitan de un Sistema de Comunicaciones para poder realizarla. La información se origina en una fuente y se transmite un mensaje al destinatario a través de un canal de comunicación. El receptor generalmente se encuentra en un punto geográfico distante o por lo menos separado del transmisor; la distancia entre el transmisor y el receptor puede variar, desde pocos centímetros (al hablar frente a frente), hasta cientos o miles de kilómetros (como es el caso de las transmisiones telefónicas). Los elementos fundamentales que intervienen para realizar una comunicación son:

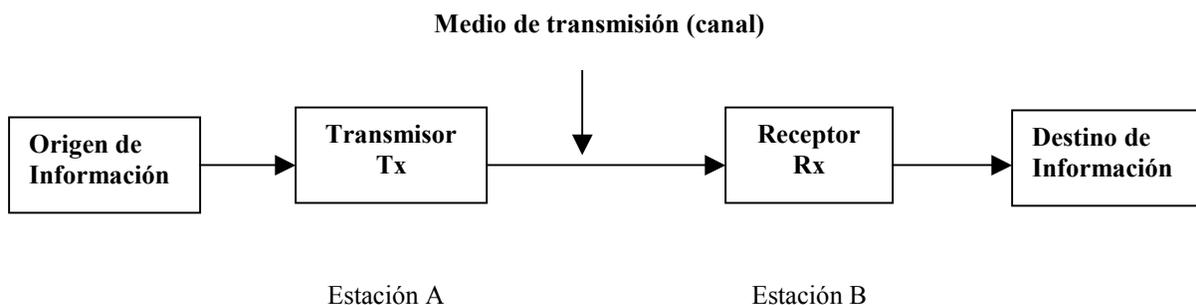
- a) **Transmisor:** es el elemento que inicia la comunicación; está encargado de transmitir el mensaje en un lenguaje que el receptor o receptores puedan descifrar con facilidad para poder establecer el enlace de comunicación.
- b) **Canal:** es el medio utilizado por el transmisor para hacer llegar el mensaje al receptor.
- c) **Receptor:** es el elemento encargado de recibir el mensaje transmitido por el emisor a través de un medio. Al recibirse el mensaje se cumple el ciclo de la comunicación.

En la ruta de comunicación de un sistema de comunicaciones intervienen: la Fuente de información, Transmisor, Canal de comunicaciones y Receptor.

## 2.2 Desarrollo del Sistema de Comunicaciones

Las necesidades de comunicación requeridas por el mundo actual, han generado la necesidad de desarrollar diversos sistemas de comunicaciones. Dichos sistemas son diseñados para cumplir con las condiciones que se requieren para la transmisión de información, lo que involucra desde un sistema para la transmisión o recepción de voz, hasta complejos sistemas de transmisión o recepción de datos para transacciones bancarias o comerciales, o bien para el uso de estrategia militar.

**Figura 4. Diagrama de bloques de un sistema de comunicaciones**



## 2.3 Características del Sistema de Comunicaciones

Existen dos tipos básicos de comunicación: Comunicación Alámbrica y Comunicación Inalámbrica. Estos tipos de comunicación, permiten propagar las señales en forma analógica ó digital, debido a que estas señales poseen características distintas para su transmisión, estas se clasifican en dos grupos: Comunicación Analógica y Comunicación Digital.

### **2.3.1 Comunicación Alambrica**

La Comunicación Alambrica depende de un medio de transmisión física entre el transmisor y el receptor. Utiliza conductores eléctricos de señal, tales como las líneas telefónicas domésticas, cable coaxial, ó fibra óptica.

### **2.3.2 Comunicación Inalámbrica**

Este tipo de comunicación no necesita de un medio físico entre el transmisor y el receptor para llevar el mensaje a su destino. Utiliza como canal transmisor el espacio, ejemplo de ello son la telefonía celular, las estaciones de radio, televisoras locales, la comunicación por microondas, la comunicación satelital, etc.

### **2.3.3 Sistema de Comunicación Analógico**

Es el proceso en el cual la energía electromagnética se transmite y se recibe en forma analógica. La señal senoidal varía continuamente, lo que significa que la amplitud y la longitud son de variación continua, dependiendo de las características de la información que se transmite. Ejemplo; la señal acústica de un instrumento musical.

### **2.3.4 Sistema de Comunicación Digital**

Es el proceso en el cual la energía electromagnética se transmite y recibe en forma digital, formada por pulsos con valores discretos tales como los dígitos binarios 0 y 1. Actualmente este sistema es el más común debido a las ventajas que posee respecto al sistema de comunicación analógico. Entre estas ventajas encontramos: mejor calidad del video, mayor capacidad de transmisión de datos, reducción y economía del ancho de banda, envío de simultaneo de señales por un mismo canal. Ejemplo; algunos tipos de teléfonos celulares y computadoras entre otros.

## **2.4 Comunicación por Microondas**

El termino microondas se utiliza para identificar las ondas electromagnéticas en un espectro de frecuencias. Las microondas ocupan una porción del espectro de frecuencias entre 1 y 300 GHz que corresponde a 10 cm y 1 mm respectivamente, en longitudes de onda. Las frecuencias que más se utilizan en las comunicaciones por microondas están en la banda de 2, 4, 6, 12, 14, 16, 18, 23 GHz., estas son utilizadas dependiendo de la aplicación requerida, debido a que a mayor distancia se utiliza una frecuencia menor y a menor distancia se utiliza una frecuencia mayor. Por lo tanto las características de las microondas son consecuencia de las longitudes de onda, por ejemplo, la longitud de onda muy pequeña permite antenas de alta ganancia. La ingeniería de las microondas tiene que ver con todos aquellos dispositivos, componentes y sistemas que trabajen en el rango frecuencia de 3 GHz a 300 GHz.

Los primeros sistemas de comunicación por microondas transportaban circuitos de banda de voz con multicanalización por división de frecuencia y utilizaban técnicas convencionales de modulación analógica con frecuencias distintas. Los sistemas recientes utilizan técnicas de modulación digital. Debido a esto, en la actualidad las microondas son muy utilizadas en sistemas de comunicación telefónica, sistemas de radiodifusión, sistemas de televisión, y en sistemas de comunicación de redes con alta capacidad de canales para la comunicación de datos.

## **2.5 Enlace de Comunicación por Microondas**

Por enlace de comunicación por microondas ó radio enlace de comunicación por microondas se entiende al tramo de transmisión directa entre dos estaciones adyacentes, ya sean terminales o repetidoras, de un sistema de comunicación. El enlace comprende los equipos instalados en las estaciones, antenas de transmisión/recepción y el trayecto de propagación entre ambas.

La distancia de instalación entre un transmisor y un receptor de microondas, depende de varios factores que intervienen para su buen funcionamiento, como lo son: potencia del transmisor, ruido del receptor, capacidad del canal, condiciones meteorológicas, geografía del terreno y obstrucción en la ruta de transmisión.

Existen dos tipos de enlaces de comunicación por microondas, los enlaces de comunicación de *corto alcance*, utilizados para distancias relativamente pequeñas que están en el rango de 15 a 40 millas, y los enlaces de comunicación de *largo alcance* utilizados para distancias relativamente largas que superan las 40 millas de distancia entre el transmisor y el receptor.

## **2.6 Sistema de Comunicación por Microondas**

Básicamente un Sistema de Comunicación por Microondas consiste en tres unidades fundamentales: Transmisor, Canal Aéreo y Receptor. El Transmisor es el responsable de modular una señal digital a la frecuencia utilizada para transmitir, El Canal Aéreo representa un camino abierto o línea vista entre el transmisor y el receptor, y el receptor es el encargado de capturar la señal transmitida y llevarla de nuevo a señal digital.

Sin duda podemos decir que el campo más valioso de aplicación de las microondas son los sistemas de comunicaciones privadas, continentales e intercontinentales, hasta llegar a las comunicaciones extraterrestres.

## 2.7 Antena de Microondas

Una antena de microondas, es un elemento que esta diseñado para propagar ó recibir las radiaciones de ondas electromagnéticas en un rango de frecuencias con un ángulo determinado. Realizando dos funciones específicas:

- a) Convertir la energía electromagnética procedente de un generador de señales a través de una línea de transmisión, en energía electromagnética que se propagara libremente en el espacio.
- b) Adaptar la impedancia interna del generador de señales a la impedancia del espacio para facilitar la implementación de los dispositivos de comunicación.

Las antenas utilizadas para enlaces por microondas en el rango de 1 a 100 GHz, tienen que ser altamente direccionales, por tal razón se utilizan *antenas direccionales*. Como la longitud de onda de las microondas es pequeña, estas antenas permiten la formación de muchos elementos que dan como resultado un ancho de haz angosto y una alta ganancia, reduciendo los efectos de la interferencia de fuentes externas y antenas adyacentes. Sin embargo causa limitaciones en la estabilidad mecánica y el desvanecimiento que podría afectar en la alineación de la antena.

### 2.7.1 Tipos de Antenas

La ganancia (G) es la capacidad que tiene una antena de amplificar señales, por lo que las antenas se pueden clasificar en tres grandes tipos:

- 1) Antenas de Baja Ganancia.

$$G < 10 \text{ dB} \quad (2-1)$$

2) Antenas de Media Ganancia.  
 $10 \text{ dB} \leq G \leq 25 \text{ dB}$  (2-2)

3) Antenas de Alta Ganancia.  
 $G > 25 \text{ dB}$  (2-3)

Para efectos de estudio, veremos las antenas de Alta Ganancia, las cuales son altamente direccionales y son utilizadas en sistemas de comunicación por microondas y sistemas de comunicación por satélite.

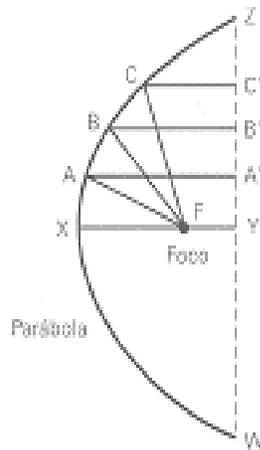
El tipo más común de antenas de Alta Ganancia, utilizadas para la transmisión y recepción de las microondas, es la *Antena Reflectora Parabólica*. En la transmisión, permite concentrar toda la energía radiada en un haz angosto dirigido directamente hacia la antena receptora, que a su vez incrementa la potencia recibida.

### **2.7.2 Antena Reflectora Parabólica**

La Antena Reflectora Parabólica esta compuesta por dos partes principales: *mecanismo de alimentación y reflector parabólico*. El mecanismo de alimentación consiste en la antena principal dipolos (dos polos) ó arreglo de dipolos, se encarga de irradiar ondas electromagnéticas hacia el reflector parabólico. El reflector parabólico es un dispositivo pasivo que refleja la energía radiada por el mecanismo de alimentación en una emisión altamente direccional, haciendo que todas las ondas individuales estén en fase.

Una antena de microondas es similar a una parábola, la cual es una curva plana, la figura 5, muestra la geometría de una parábola cuyo foco esta en el punto F y cuyo eje esta en la línea XY.

**Figura 5. Antena de UHF y Microondas**



Fuente: Tomada de Sistema de Comunicaciones Electrónicas

Donde existe la siguiente relación:

$$FA + AA' = FB + BB' = FC + CC' = K \quad (2-4)$$

FX = longitud de foco de la parábola (metros)

WZ = longitud de la directriz (metros)

K = constante para una parábola determinada (metros)

$$\textit{Relación de Apertura} = FX / WZ \quad (2-5)$$

Al irradiarse energía electromagnética hacia el reflector parabólico desde el foco, todas las ondas irradiadas viajarán la misma distancia para llegar a la directriz. Sin importar desde que punto de la parábola se hayan reflejado, todas las ondas irradiadas hacia la parábola desde el foco estarán en fase cuando lleguen a la directriz (WZ).

Por lo tanto, la radiación de energía electromagnética se concentrara a lo largo del eje XY, provocando así la cancelación en todas las direcciones.

Para recibir o reflejar las señales eficazmente, la superficie de la parábola no necesariamente debe ser metálica sólida, se puede utilizar malla que tenga un ancho de abertura menor a 0.1 de longitud de onda ( $\lambda$ ). Esto es, para un fácil ajuste, para reducir el peso y la resistencia al aire.

### 2.7.2.1 Ancho del Haz

La radiación tridimensional de un reflector parabólico tiene un lóbulo principal que se parece a un cigarro grueso en dirección XY.

$$\theta = 70 \lambda / D = 70 c / fD \quad (2-6)$$

$$\phi_0 = 2\theta \quad (2-7)$$

Donde:

$\theta$  = Ancho de haz entre puntos de media potencia (grados)

$\lambda$  = Longitud de onda (metros)

$c = 3 \times 10^8$  metros/segundo

$D$  = Diámetro de la boca de la antena (metros)

$f$  = Frecuencia (Hertz)

$\phi_0$  = Ancho del haz entre nulos en el patrón de radiación (grados)

La formula (2-7) nos permite conocer el ancho del haz incidente del lóbulo principal que obtendríamos en un reflector parabólico.

### 2.7.2.2 Eficiencia de la Antena Parabólica ( $\eta$ )

La superficie en un reflector parabólico no es perfecta, por lo tanto una pequeña porción de señal irradiada desde el mecanismo de alimentación será absorbida por dicha superficie, así como también la energía que esta cerca de la orilla no es reflejada. Por lo que solo del 50 % al 75% de la energía se refleja desde el mecanismo de alimentación hacia adelante en un haz concentrado.

### 2.7.2.3 Ganancia de Potencia de la Antena Parabólica

$$A_p = \eta (\pi D / \lambda)^2 \quad (2-8)$$

Donde:

$A_p$  = Ganancia de potencia con relación a una antena Omnidireccional.

$D$  = Diámetro de boca del reflector parabólico (metros).

$\eta$  = Eficiencia de la antena (potencia radiada por la antena relativa a la potencia irradiada por el mecanismo de alimentación).

$\lambda$  = Longitud de onda (metros).

La temperatura de ruido de la antena es la cantidad de ruido que rodea a la antena y que puede ser captada por la misma. Dicha temperatura de ruido va a depender del patrón de radiación, ya que este puede determinar la capacidad de la antena para rechazar las señales indeseadas.

La relación entre la Ganancia y la Temperatura de Ruido de la antena ( $G/T$ ), proporciona el desempeño de la antena y del amplificador de bajo ruido. Esto se debe a que el calor del suelo emite radiación y por lo tanto la temperatura de ruido de la antena será mayor cuando la antena apunta con un ángulo de elevación más bajo.

### 2.7.3 Influencia del Lugar de Colocación de la Antena

Para la ubicación de una antena, se debe encontrar el sitio más apropiado para minimizar las pérdidas en el patrón de radiación, debido a que este es afectado significativamente por diversos factores provocando diferencia con los datos de diseño y los datos de campo.

Aunque son numerosas las posibles fuentes de interferencia que degradan el enlace de microondas, se pueden identificar tres grandes grupos:

- a) *Obstáculos en la línea vista*, por ejemplo, montañas, árboles altos en los cerros, edificios, tráfico aéreo, etc.
- b) *Variaciones climatológicas y efectos atmosféricos*, por ejemplo el choque de la señal de transmisión en la ionosfera de la tierra, originando esto un desfase en la señal y descargas electrostáticas.
- c) *Interferencias*, por ejemplo la que se inducen por efecto de retransmisión y colisión de señales externas que provienen de otros equipos de transmisión.

Los sistemas de comunicación por enlaces de microondas, utilizan la Transmisión por Línea Vista, esta consiste en una ruta de señal directa entre la antena transmisora y la antena receptora, si por alguna causa esta ruta experimentara una degradación de la señal, el enlace podría interrumpirse. Para evitar esta degradación se puede recurrir a los métodos de diversidad, que permiten minimizar esta degradación, incrementando la confiabilidad del sistema de comunicación.

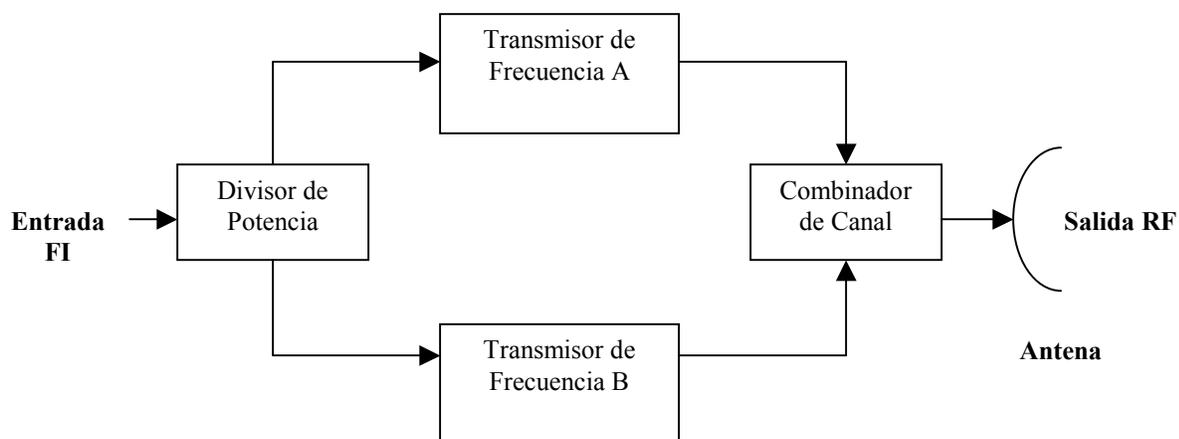
## 2.7.4 Diversidad

Esta sugiere la existencia de más de una ruta o medio de transmisión disponible, entre la antena transmisora y la antena receptora que sean afectadas por cualquier interferencia. Entre los métodos más comunes utilizados para lograr la diversidad encontramos: *diversidad de frecuencia, diversidad de espacio y diversidad de polarización.*

### 2.7.4.1 Diversidad de Frecuencia

Se realiza por medio de la modulación de dos frecuencias diferentes de portadora RF con la misma FI, para luego transmitir las por el mismo canal a un destino establecido. Ya recibidas, estas se demodulan y se comparan entre si para ver quien tiene la mejor calidad para extraer la información. Este procedimiento reduce cualquier interferencia por condiciones climáticas o atmosféricas, debido a que, es difícil que ambas frecuencias de portadora se encuentren afectadas al mismo tiempo.

**Figura 6. Sistema de microondas con diversidad de frecuencia**

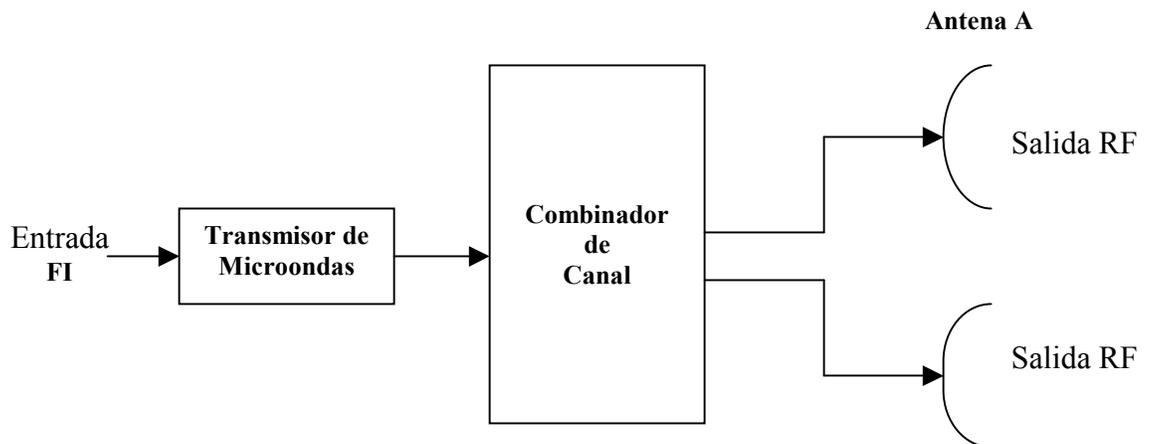


### 2.7.4.2 Diversidad de Espacio

Permite alimentar a la salida del transmisor, dos o más antenas, que se encuentren separadas físicamente a determinada distancia eléctrica, dicha distancia eléctrica debe ser un múltiplo igual al largo de la longitud de onda de la señal de frecuencia utilizada. Igualmente en el receptor puede haber dos o más antenas separadas físicamente a una determinada distancia eléctrica, esto para garantizar que en recepción, las señales de igual frecuencia que estén en fase se puedan agregar. Ya que de lo contrario se cancelarían unas con otras, resultando en una degradación en la potencia de la señal recibida.

La diversidad de espacio se utiliza cuando alguna de las estaciones esta ubicada en un punto muy distante, en regiones con alta concentración de interferencia atmosférica, ó trafico de ondas electromagnéticas por diversas naturalezas.

**Figura 7. Sistema de microondas con diversidad de espacio**



### **2.7.4.3 Diversidad de Polarización**

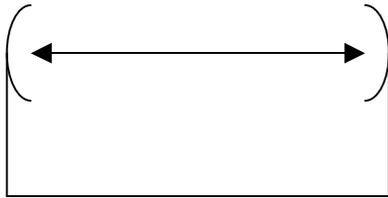
Establece que una portadora de RF, puede propagarse con dos diferentes polaridades electromagnéticas, polaridad vertical y polaridad horizontal. De esta forma permite el re-uso de frecuencia, aprovechando las características de ortogonalidad en la polarización de la antena, para transmitir usando la misma frecuencia. Se utiliza cuando se pretende proteger el enlace contra interferencias. Es importante tomar en cuenta que se puede utilizar, en forma simultanea los tres tipos de diversidad.

### **2.7.5 Margen de Desvanecimiento**

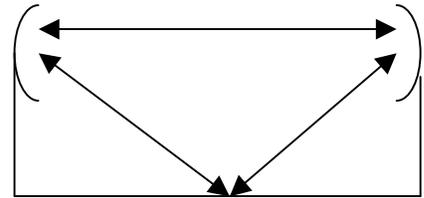
El desvanecimiento es provocado por los cambios atmosféricos y las reflexiones en la trayectoria de propagación, al encontrar superficies terrestres o acuáticas Fig. (8) que provocan el decrecimiento del nivel de la señal en el orden de 20, 30, 40 o más decibeles (dB) en un determinado momento, alterando la trayectoria del espacio libre y perjudicando el funcionamiento del enlace, afectando la confiabilidad del sistema.

Una señal electromagnética puede poseer una longitud de onda con un tamaño equivalente al de una pequeña gota de agua lluvia, este efecto momentáneo en un enlace cuando llueve se manifiesta como un desvanecimiento o dispersión de la señal, en caso que se excediera el rango permitido se perdería completamente la señal, para ello algunos equipos compensan la perdida por desvanecimiento en un rango de 25 a 40 dB.

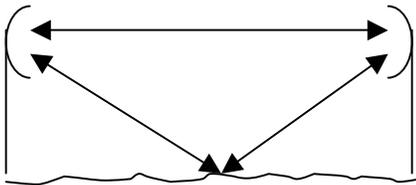
**Figura 8. Diagrama de las superficies de la Tierra**



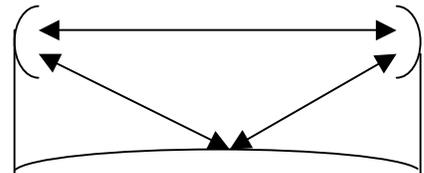
**Espacio Libre**



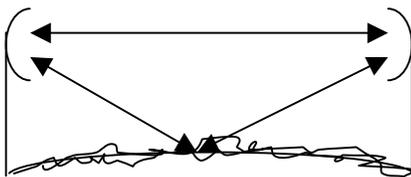
**Reflexión en una Superficie Plana Lisa**



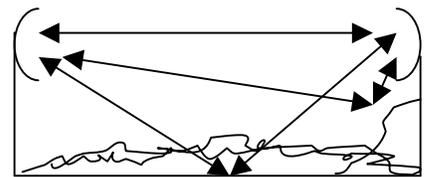
**Reflexión en una Superficie Plana**



**Reflexión en una Superficie Esférica Lisa**



**Reflexión en una Superficie Esférica Áspera**



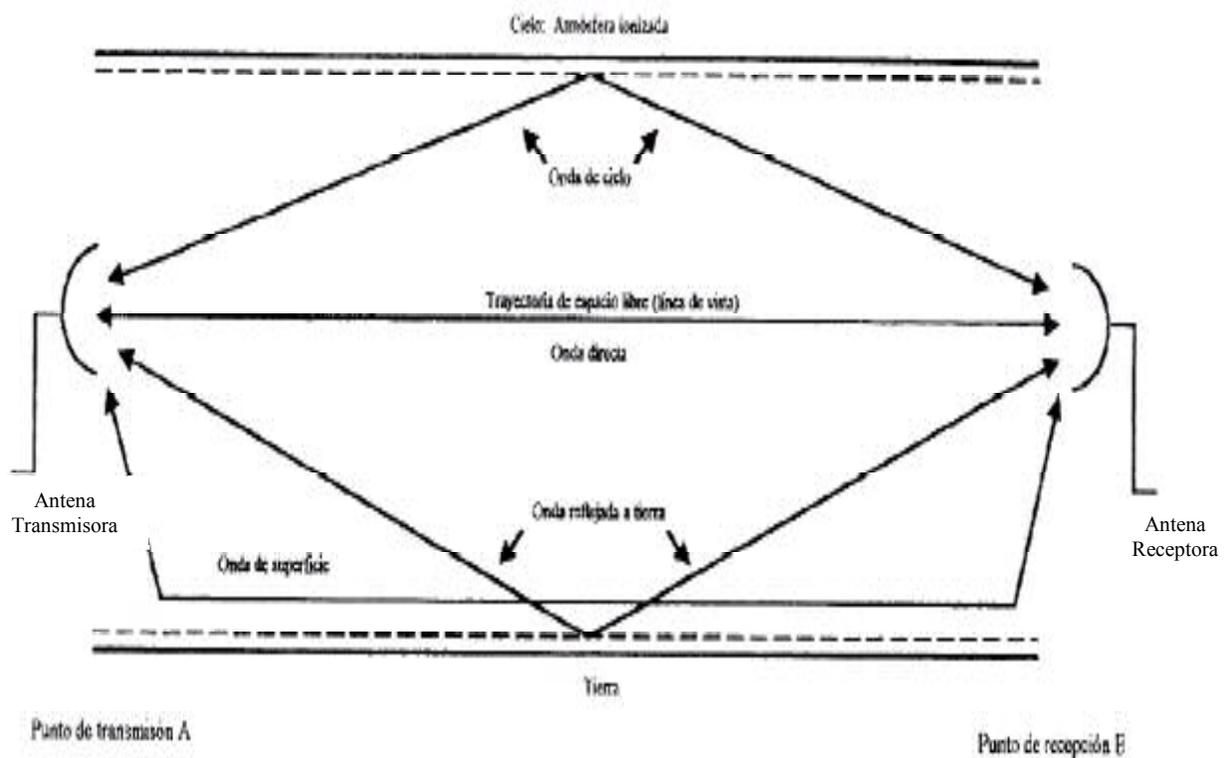
**Reflexión de Ondas de Trayectoria**

## 2.8 Características de La Trayectoria de Propagación de Ondas

La trayectoria ideal a seguir, en una onda electromagnética que se propaga, es una línea recta definida por la línea vista entre la antena de transmisora y la antena receptora, esto permite lograr la máxima directividad en las antenas y por lo tanto obtener la máxima calidad en la recepción de señal.

Sin embargo, existen trayectorias secundarias en la propagación de una onda electromagnética entre la antena de transmisora y la antena receptora, como se puede apreciar en la figura 9.

**Figura 9. Trayectorias de propagación de estación A hacia estación B**



### **2.8.1 Trayectoria de Línea Vista u Onda Directa**

Se da cuando la trayectoria de la transmisión es directamente entre la antena transmisora y la antena receptora.

### **2.8.2 Trayectoria de Onda Reflejada a Tierra**

Es la porción de la señal de la antena transmisora que se refleja de la superficie de la tierra y es capturada por la antena receptora.

### **2.8.3 Trayectoria de Onda de Superficie**

Depende de las características de la superficie de la tierra así como de la polarización electromagnética de la onda, esta se puede dejar de considerar siempre y cuando la altura de las antenas no sea muy baja, por lo que es importante conocer las características generales de la trayectoria de propagación de la onda electromagnética con visibilidad para cada superficie.

### **2.8.4 Onda de Cielo**

Es la cantidad de la señal transmitida que se regresa reflejada a la superficie de la Tierra por la ionización de la atmósfera, siendo esta solamente una fuente de interferencia ocasional de larga distancia, por lo que se puede dejar de considerar ya que no es una señal confiable para el propósito de la comunicación por microondas. Para el diseño de un enlace por microondas es importante conocer las distintas superficies del terreno donde se propagara la señal. Esto se puede lograr utilizando los modelos y características del diagrama de superficies de tierra.

## 2.9 Ganancia del Sistema

Es la diferencia entre la potencia nominal de salida del transmisor y la potencia mínima de entrada requerida por el receptor, la cual debe ser mayor que, o igual a la suma de todas las ganancias y pérdidas cometidas por la señal que se propaga en el enlace.

La ganancia del sistema nos permite conocer la confiabilidad del sistema bajo ciertos parámetros. Conociendo estos parámetros y considerando el comportamiento de la trayectoria de propagación en el punto de transmisión A y el punto de recepción B, por medio de la utilización de un *diagrama de perfiles*, podemos realizar el diseño del enlace.

El diagrama de perfiles es un método sistemático que considera las alturas relativas de la superficie de la tierra entre el punto de transmisión A y el punto de recepción B de una trayectoria libre o línea vista, dicho método permite determinar la potencia mínima de recepción requerida por el enlace para que sea confiable.

## 2.10 Comunicación por Satélite

El siglo XX ha sido denominado el de las comunicaciones espaciales, estas se iniciaron a principios de 1960, como resultado de años de investigación, trabajo y la visión tecnológica de muchos hombres en el mundo. Fue así como se desarrolló la tecnología necesaria para poner en órbita satélites artificiales que realizarían la comunicación satelital. Como era una tecnología nueva, el costo de utilizar un satélite para la comunicación era muy alto, especialmente si se comparaba con un sistema de comunicación por microondas terrestres. Posteriormente los sistemas de comunicación por satélite se volvieron más accesibles cada año, ofreciendo mayores ventajas para la comunicación comparada con los cables subterráneos, cables submarinos, sistemas de microondas y sistemas de fibra óptica.

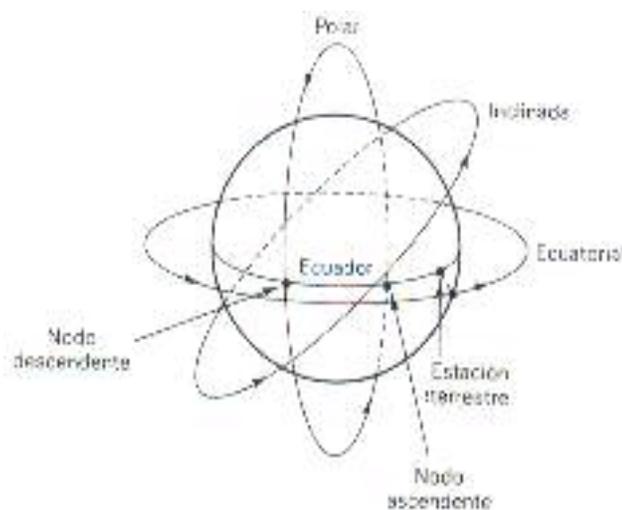
## 2.11 Satélite

El satélite es un mecanismo fabricado y colocado en una determinada órbita que gira alrededor de la Tierra durante un periodo de vida útil, algunos están provistos de equipos de transmisión y recepción de señales para cumplir con funciones específicas.

Encontramos dos tipos de satélite, *satélite pasivo*, el cual simplemente refleja una señal de regreso a la Tierra, dicho satélite no contiene a bordo dispositivos electrónicos de ganancia para amplificar o repetir una señal, sin embargo algunos poseen un transmisor para propósitos de rastreo. El *Satélite activo*, es el que recibe, amplifica y retransmite una señal a la Tierra y posee a bordo dispositivos electrónicos.

Los satélites pueden girar alrededor de la Tierra en las siguientes órbitas: *órbita ecuatorial*, la que se encuentra sobre el ecuador, *órbita polar*, la que pasa sobre los polos norte y sur, *órbita inclinada*, utilizada en regiones polares y regiones de altos ángulos de elevación.

**Figura 10. Órbitas del Satélite**



Fuente: Tomada de Sistema de Comunicaciones Electrónicas

### **2.11.1 Satélites Orbitales**

Los satélites orbitales son conocidos también como *satélites asíncronos*. La trayectoria que llevan es un patrón elíptico o circular de baja altitud alrededor de la Tierra. Por estar tan cercanos a la Tierra, están sometidos a una mayor atracción gravitacional y por lo tanto deben girar más rápido. Debido a que estos satélites están cayéndose o alejándose continuamente de la Tierra, generan una orbita, conocida como *orbita progrado*. Dichos satélites giran en la misma dirección de la rotación de la Tierra y a una velocidad angular superior a la de la Tierra.

Si los satélites giran en la misma dirección ó en dirección opuesta a la rotación de la Tierra y a una velocidad angular inferior a la de la Tierra, generan una orbita, conocida como *orbita retrograda*.

Los satélites orbitales no permanecen estacionarios respecto a un punto de referencia de la Tierra, creando una desventaja para su utilización, ya que podrá ser utilizado únicamente cuando esta disponible, lo cual puede ser durante un corto periodo de tiempo. Otra desventaja seria el equipo complicado y costoso para rastrearlo desde las estaciones terrestres. Sin embargo poseen gran ventaja debido a que no necesitan dispositivos de propulsión a bordo para que se mantengan en su orbita.

### **2.11.2 Satélites Geostacionarios**

Los satélites geostacionarios son conocidos también como *satélites sincronos*, la trayectoria que llevan es un patrón circular, con una velocidad angular igual a la de la Tierra. Por lo tanto estos se encuentran con una posición fija a un punto de referencia respecto a la Tierra. La orbita utilizada se encuentra en el plano ecuatorial del centro de la Tierra, a una altura aproximada de 36000 Kms. un periodo de 23 hrs. 56 min. 04 seg. siendo esta la orbita ideal, ya que este es el único círculo paralelo a la Tierra para balancear

la fuerza gravitacional y centrífuga, para que la velocidad de rotación del satélite sea la misma a la de la Tierra.

Los satélites geoestacionarios permanecen estáticos respecto a un punto fijo de referencia en la Tierra. Esto se puede considerar como una gran ventaja ya que no necesitan de un sofisticado equipo de rastreo. Otra ventaja sería, que pueden cubrir una mayor cobertura para la transmisión de señales por su gran altitud, y los cambios de posición resultan insignificantes porqué no afectan la comunicación. Sin embargo debido a su gran altitud, el tiempo de propagación de las señales es mayor, requiriendo mayor potencia de transmisión y recepción debido a pérdidas causadas por la distancia. Otra desventaja sería que estos satélites requieren dispositivos de propulsión para mantenerlos en sus orbitas.

### **2.11.3 Aplicaciones de los Satélites**

Existe una gran variedad de satélites artificiales girando junto a la Tierra, que realizan aplicaciones específicas, y están dotados con instrumentos especiales y fuentes de energía (celdas fotovoltaicas, nucleares, etc.). Por su aplicación encontramos satélites: científicos, astronómicos, meteorológicos, comunicaciones, navegación, observación ó espías, investigación de recursos terrestres.

**2.11.3.1 Satélites Científicos:** Recogen datos del campo magnético terrestre, auroras boreales, tormentas solares y distintos tipos de radiación.

**2.11.3.2 Satélites Astronómicos:** Permiten escrutar el espacio sin el obstáculo que presenta la atmósfera terrestre, ya que ésta absorbe gran parte de la luz y la radiación.

**2.11.3.3 Satélites Meteorológicos:** Recogen información sobre la atmósfera, huracanes, celdas de lluvia, tormentas eléctricas, grupos de nubes y el equilibrio térmico de la Tierra.

**2.11.3.4 Satélites de Comunicaciones:** Permiten la transmisión de voz, datos, video, conectan redes telefónicas, redes de Internet, redes de televisión, etcétera.

**2.11.4.5 Satélites de Navegación:** Situados en órbitas fijas, estos emiten señales para determinar la posición de vehículos, barcos, aviones, etcétera.

**2.11.4.6 Satélites de Observación o Espías:** Fotografían instalaciones militares, nucleares, detectores de misiles, estos son utilizados básicamente para fines militares.

## **2.12 Sistema de Comunicación por Satélite**

Un sistema de comunicación por satélite consiste en un repetidor de comunicaciones, una estación de mando en tierra para controlar el funcionamiento del satélite, y una red de usuarios de las estaciones terrestres para realizar la transmisión y recepción de información para obtener la comunicación.

A la transmisión y recepción de información de un sistema de comunicación por satélite se le cataloga como *bus o capacidad*. El concepto de *bus*, incluye todos los mecanismos de control que apoya el concepto de capacidad. La *capacidad* es toda la información del usuario que será transportada a través de la comunicación.

Los satélites de comunicación han extendido el alcance de la línea de propagación y han hecho posible la transmisión transoceánica de microondas por su capacidad de admitir amplias bandas de frecuencias para realizar la comunicación.

Un satélite puede realizar una transmisión a través de distintos *modos*, estos modos significan las bandas de frecuencias que utilizan estos satélites para operar: dentro de los cuales encontramos el Uplink (Enlace de Subida) y el Downlink (Enlace de bajada).

Dentro del espectro electromagnético, las bandas de frecuencias más utilizadas para realizar la comunicación por satélite, son las bandas 6/4 y 14/12 GHz. El primer número es la frecuencia de subida (Uplink) y el segundo número es la frecuencia de bajada (Downlink).

### **2.13 Subsistemas del Satélite de Comunicación**

Un satélite de comunicación posee varios subsistemas que permiten realizar funciones específicas para la fase de colocación en órbita del satélite, así como también para la fase de operación en su órbita. Dichos subsistemas generalmente son los siguientes: *Subsistema de comunicaciones, Subsistema de Telemetría, Comando y Rango, Subsistema de Control de Posición, Subsistema de Propulsión, Subsistema de Potencia Eléctrica, Subsistema de Control Térmico, Subsistema de Estructura.*

Estos subsistemas permiten el manejo de diferentes bandas de frecuencia como lo son: banda C, Ku y L, para la comunicación de las regiones que están bajo su cobertura, además permiten la ampliación y diversificación de los servicios de comunicación, a través de técnicas de explotación para optimizar el uso del segmento espacial.

El *subsistema de comunicaciones* posee equipos electrónicos abordo, que convierten la señal recibida de una frecuencia a otra antes de retransmitirla, esto debido a que los satélites no pueden retransmitir una señal a la misma frecuencia que fue recibida, si esto ocurriese los satélites interferirían con la señal de las estaciones terrestres. Esta señal de frecuencia entra más alta sea, mas pequeño es el diámetro requerido por las antenas de las estacione terrenas.

## **2.14 Estación Terrena**

Una estación terrena, posee las características siguientes: interconexión con una red terrestre de comunicaciones, una antena, equipos de comunicación para la transmisión y recepción de señal hacia el satélite, y poseen redundancia de equipos y sistemas de grupos electrógenos para la alimentación ininterrumpida de energía eléctrica de la estación. En algunas estaciones terrenas poseen sistemas de seguimiento que emiten señales de control hacia la antena para poder orientarla adecuadamente.

### **2.14.1 Antena de Estación Terrena**

Es el elemento que se encarga de enviar hacia el satélite las señales de radio frecuencia generada en la estación terrena y recibir las señales radiadas desde el satélite. Dentro de las características ha considerarse para la evaluación de una antena para una estación terrena son: su ganancia, patrón de radiación, temperatura de ruido y su estructura. Las antenas que poseen estas características, son las antenas parabólicas similares a las utilizadas en los enlaces por microondas, debido a que son altamente directivas y concentran la radiación, obteniendo una alta ganancia para realizar la comunicación.

### **2.14.2 Angulo de Elevación de la Estación Terrena**

El ángulo de elevación, es el ángulo de la señal radiada desde la antena de la estación terrena entre el satélite y la horizontal de la Tierra, medido en grados. Entre más pequeño sea este ángulo, mayor será la distancia que deberá recorrer para atravesar la atmósfera de la Tierra una onda de señal radiada. Este recorrido causa la atenuación de la señal por diversos factores como lo son: absorción atmosférica (auroras boreales, tormentas solares), absorción por niebla, absorción por lluvia. Por esta razón, se puede considerar un ángulo mínimo aceptable de 5°.

### **2.14.3 Azimut**

Es el ángulo de la señal radiada desde la antena de la estación terrena, se mide en grados respecto al norte, y puede variar desde 0° a 360° en el sentido de las agujas del reloj. El Angulo de Elevación y el Azimut dependen de la orbita del satélite, la latitud y longitud depende de la estación terrena.

### **2.14.4 Tormentas Solares**

Las brillantes auroras boreales constituyen un signo visible de la alteración que la magnetosfera terrestre ha sufrido en su balance de energía eléctrica y magnética provenientes de la conexión Sol-Tierra. Con una descarga promedio de 1500 Gigavatios de electricidad que las tormentas solares (CME por sus siglas en ingles) realizan en la alta atmósfera, pueden ocurrir grandes cambios en nuestro espacio. Estos cambios pueden hacer trastornos en un planeta que depende de satélites, energía eléctrica y comunicaciones de radio, todos ellos con posibilidades de ser afectados por las CMEs, por lo que las CMEs plantean un riesgo natural y tecnológico para la vida en la Tierra.

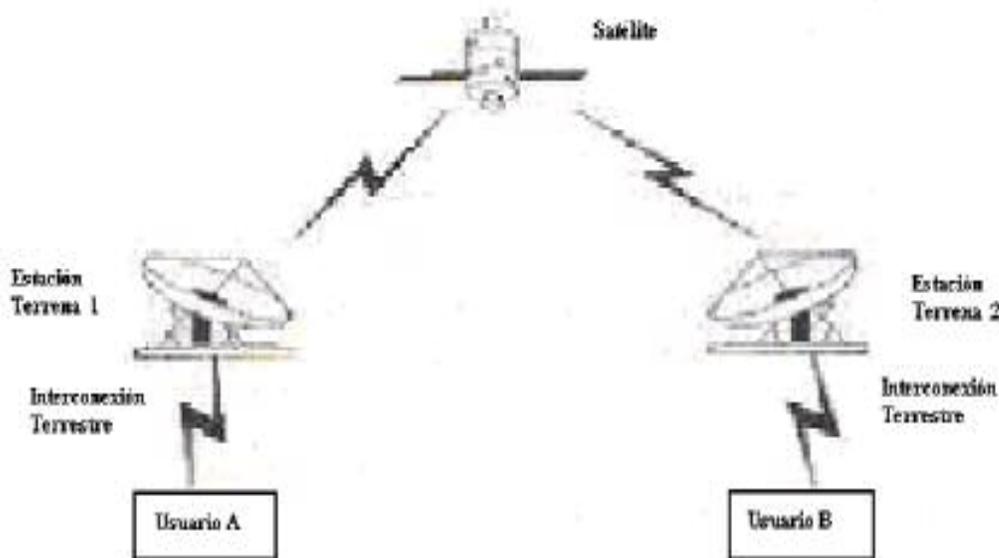
## **2.15 Enlace de Comunicación Satelital**

Cuando uno o más usuarios necesitan comunicarse entre sí, pueden recurrir a la utilización de un Sistema de Comunicaciones. Un enlace de comunicaciones se puede realizar a través de un Sistema de Comunicaciones por Satélite, el cual consiste en la comunicación entre usuarios, quienes están interconectados a través de una estación terrena y utilizan un satélite como repetidor para lograr la comunicación.

Un enlace de comunicación satelital (Fig. 11), surge cuando un usuario A, que se encuentra interconectado con su respectiva estación terrena (1), utiliza un satélite para llevar a cabo una comunicación con el usuario B, que a su vez utiliza su respectiva estación terrena (2) para realizar dicha comunicación. Es decir, que el satélite, cumple con la función de amplificar la señal recibida y retransmitirla.

Un enlace de comunicación satelital se compone de tres secciones: enlace de subida (Uplink) (estación terrena 1 hacia satélite), repetidor y enlace de bajada (Downlink) (satélite hacia estación terrena 2).

**Figura 11. Enlace de Comunicación Satelital**



Para realizar la comunicación a través de un enlace de comunicación satelital, es importante tomar en cuenta que el usuario ó usuarios, deberán estar interconectados con su respectiva estación terrena, por medio de enlaces terrestres ya sea por cables ó líneas físicas, fibra óptica, enlaces por microondas, etc.

Básicamente, los enlaces de comunicación por satélite son iguales a los enlaces de comunicación por microondas, excepto que en la comunicación por satélite, uno de los extremos de la conexión se encuentra en el espacio. Y en la comunicación por microondas, un factor limitante es que debe de existir una línea recta entre los dos puntos de enlace, debido a que la tierra es esférica, esta línea recta se ve limitada en tamaño. Esta situación la supera un enlace de comunicación por satélite al colocar el receptor ó el transmisor en el espacio, logrando de esta forma una línea recta con una longitud más grande.

El cálculo de enlace se utiliza para optimizar los parámetros en una estación terrena. Permite conocer información acerca de los parámetros satelitales al igual que los parámetros del sistema. Un buen cálculo de enlace permitirá tomar consideraciones sobre la longitud del enlace, sus interferencias y las condiciones metereológicas.

Para el diseño de un enlace de comunicación satelital entre dos estaciones terrenas utilizando un satélite como repetidor, se debe calcular el enlace de subida y el enlace de bajada por separado y posteriormente integrarlos. El resultado de estos cálculos, permite conocer los equipos necesarios para cada estación terrena (tamaño de antena, potencia de los amplificadores, etc.), consumo de ancho de banda, y el índice de disponibilidad del sistema.

## **2.16 Transpondedor del Satélite**

La sección de subida de un enlace de comunicación satelital, esta compuesta por un enlace que va de la estación terrena transmisora hacia el receptor del transpondedor del satélite. La sección del transpondedor esta formada por un repetidor de RF a RF, y la sección de bajada, se compone de un enlace que va desde el transmisor del transpondedor del satélite hacia el receptor de la estación terrena receptora.

Es decir, que el transpondedor es un dispositivo que forma parte del satélite, el cual cuenta con varias antenas que reciben y envían señales desde y hacia la Tierra. Los satélites tienen transpondedores verticales y horizontales.

El transpondedor tiene como función principal amplificar la señal que recibe de la estación terrena, cambiar la frecuencia y retransmitirla con una amplia cobertura hacia una o varias estaciones terrenas. A través de la antena receptora, recibe la señal y es amplificada por un LNA, que incrementa la señal sin admitir ruido. A la salida del LNA la señal es introducida a un FPB para eliminar lo que no pertenece a la señal original, seguidamente esta señal se pasa a un convertidor de frecuencia (OSC) que reduce la señal a su frecuencia descendente, ésta señal pasa para su amplificación final a un HPA, usualmente de 5 a 15 Watts, que contiene un amplificador de potencia de estado sólido (SSPA) como amplificador de salida. Una vez concluido el proceso, la señal pasa a la antena descendente y se realiza el enlace con la estación receptora.

Las funciones principales que realiza un transpondedor son:

- *Recibir y transmitir señales.* Por medio del enlace de subida y bajada entre las estaciones terrenas y el satélite.

- *Aumentar la potencia de las señales.* Este proceso es indispensable, ya que sin la potencia suficiente la información llegará en forma deficiente o simplemente no se recibirá.

- *Disminuir la frecuencia e invertir la polaridad.* Son dos formas de evitar que las señales, tanto de ascenso como de descenso, se interfieran y que causen pérdidas en la información. En la comunicación satelital es necesario que la señal que se envía a un transpondedor determinado, pueda ser recibida por cualquier estación terrena que se encuentre situada en la zona de cobertura correspondiente.

## 2.17 Banda de Frecuencias para los Satélites de Comunicación

La mayoría de los satélites domésticos utilizan la banda C (6/4 GHz.), desafortunadamente, esta banda también se usa extensamente en los Enlaces de Comunicación por Microondas terrestres. Los enlaces de comunicación utilizan frecuencias que se encuentran dentro del espectro electromagnético de 3 GHz - 300 GHz, con longitudes de onda en vacío entre 10 cm. y 1 mm. En algunos casos el uso de frecuencias muy altas tiene inconvenientes de atenuación por lluvia, situación que se da cuando un sistema satelital utiliza la banda Ku.

Las señales transmitidas por los satélites, al igual que los enlaces por microondas, son también degradadas por la distancia y las condiciones atmosféricas. Por lo tanto se debe tener cuidado cuando se va a diseñar una red de enlace satelital que operará en la banda C, para evitar interferencias con los enlaces por microondas terrestres que utilizan la banda C, estas interferencias se pueden reducir eligiendo un blindaje y sitio adecuado donde se instalara la estación terrena. A continuación se presenta una tabla que muestra las bandas de frecuencias y su rango utilizadas para la comunicación.

**Tabla III. Banda de Frecuencias de Comunicación**

<b>Banda de Frecuencia</b>	<b>Rango (GHz)</b>
L	1 - 2
S	2 - 4
C	4 - 8
X	8 - 12
Ku	12 -18
K	18 - 27
Ka	27 - 40
Milimétrica	40 - 300

Fuente: Tomada de Digital Satellite Communications

## **2.18 Técnicas de Acceso al Satélite de Comunicación**

En un enlace de comunicación satelital cuando utilizamos un satélite como repetidor, debemos saber cual es el ancho de banda requerido para la comunicación. Estos satélites contienen transpondedores abordo con anchos de banda específicos, en caso que el ancho de banda requerido sea inferior o mayor al ancho de banda proporcionado por uno de los transpondedores, el ancho de banda, puede fraccionarse en uno o varios transpondedores. Además, el ancho de banda puede ser proporcionado sin ninguna dificultad, en caso de ser requerido bajo demanda o por intervalos de tiempo.

Debido a que el satélite posee un límite de capacidad, existen ciertas normas bajo las cuales uno o más usuarios pueden acceder y utilizar el ancho de banda de un transpondedor. El consumo del ancho de banda del satélite requerido para la comunicación, se puede reducir eficientemente mediante el uso de técnicas de acceso al satélite.

Dentro de las técnicas de acceso al satélite tenemos: *Acceso Múltiple por División de Frecuencia FDMA (Frequency Division Multiple Access)*, *Acceso Múltiple por División de Tiempo TDMA (Time Division Multiple Access)*, *Acceso Múltiple por División de Código CDMA (Code Division Multiple Access)*, *Acceso Múltiple con Asignación por Demanda DAMA (Demand Assignment Multiple Access)*.

### **2.18.1 Acceso Múltiple por División de Frecuencia**

El *FDMA* consiste en dividir el ancho de banda del transpondedor o canales de RF en bandas de frecuencias más pequeñas. Cada estación terrena que utiliza el transpondedor, tiene asignada una portadora diferente que esta asociada con el ancho de banda requerido. Los mecanismos de control aseguran que dos o más estaciones terrenas no transmitan en la misma subdivisión, al mismo tiempo, dentro del mismo ancho de banda del transpondedor.

Cada estación terrena puede transmitir simultáneamente, pero en diferentes bandas, estas transmisiones se intercalan en el dominio de la frecuencia en el transpondedor del satélite.

La desventaja de este método consiste en que las portadoras de muchas estaciones terrenas pueden estar presentes al mismo tiempo en el transpondedor, causando una distorsión por modulación cruzada entre ellas. Esto se puede compensar apagando las subportadoras de los canales sin utilizar.

### **2.18.2 Acceso Múltiple por División de Tiempo**

El *TDMA* consiste en la transmisión de portadoras moduladas digitalmente con multicanalización por división de tiempo entre estaciones terrenas activas dentro de la red satelital. Estas estaciones terrenas comparten un transpondedor o fracción del mismo en el tiempo, de forma sincronizada. Para transmitir una ráfaga de datos durante el tiempo asignado, cada ráfaga está sincronizada para que llegue al transpondedor del satélite con un tiempo diferente, esto permite un tiempo de tráfico destinado únicamente para la estación terrena.

La ventaja de este método se basa en que durante el tiempo asignado a cada estación terrena, la estación terrena puede disponer de todo el ancho de banda. Este ancho de banda asignado es el del transpondedor, por lo tanto no existe el problema de la intermodulación como en el caso de FDMA, ya que se evita la colisión de la portadora con otra estación terrena. Este método puede asignar tiempos determinados para las estaciones terrenas de acuerdo a las necesidades de tráfico que estén manejando.

### **2.18.3 Acceso Múltiple por División de Código**

En el *CDMA* la transmisión que realiza cada estación terrena se codifica en un código binario llamado *código de chip*. Al recibirse esta información, cada estación terrena deberá utilizar técnicas de decodificación para obtener la información que fue introducida en el código de chip.

El transmisor de la estación terrena puede transmitir cada vez que lo requiera, utilizando cualquier ancho de banda de los disponibles, y si es necesario utilizar todo el ancho de banda que tiene asignado el satélite. Muchas veces a este método se le conoce como *acceso múltiple del espectro disperso SSMA (Spread Spectrum Multiple Acces)*, porque no hay limitaciones en el ancho de banda.

La ventaja del CDMA consiste en que todas las estaciones terrenas dentro del sistema pueden transmitir a la misma frecuencia al mismo tiempo. La encriptación de la información permite una confiabilidad e inmunidad a la interferencia. Sin embargo, la desventaja sería que se utiliza un gran ancho de banda debido a que cada bit de información se transforma en una trama de bits para formar el código de chip.

### **2.18.4 Acceso Múltiple con Asignación por Demanda**

El *DAMA* consiste en asignar a la estación terrena un canal del transpondedor de forma permanente o durante periodos de tiempo. Para asignaciones del canal permanentemente la estación terrena dispone del canal todo el tiempo, por lo tanto podríamos decir que se tiene un canal dedicado. En asignaciones del canal durante periodos o lapsos de tiempo para la estación terrena, se dispone de una comunicación discontinua y variable con la finalidad de evitar capacidad inactiva del canal y costos innecesarios. Esto es posible mediante la reutilización y recombinación de los canales.

### 3. COMPARACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR ENLACES DE MICROONDAS CON UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR SATELITE

#### 3.1 Bandas de Frecuencias utilizadas en las Comunicaciones

El organismo que norma las frecuencias es la ITU (International Telecommunication Unión, Unión Internacional de Telecomunicaciones). Esta es la agencia especializada de las Naciones Unidas, que ha desarrollado reglas y regulaciones de radio a través de Radio Conferencias Internacionales denominadas WARC (World Administrative Radio Conference, Conferencia de Radio Administrativa Mundial). Dentro de estas reglas y regulaciones encontramos las frecuencias agrupadas en bandas, y cada una de ellas recibe un nombre. A estas agrupaciones de bandas se le denomina Espectro Radioeléctrico, el cual se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla IV. Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico**

Margen de Frecuencias	Designación por su Frecuencia	Longitud de Onda	Designación por su Longitud
3 KHz. a 30 KHz.	VLF Very Low Frequency (Frecuencia Muy Baja)	100 Km a 10 Km	Miriamétricas
30 KHz. a 300 KHz.	LF Low Frequency (Frecuencia Baja)	10 Km a 1 Km	Kilométricas
300 KHz. a 3.000 KHz.	MF Médium Frequency (Frecuencia Media)	1 Km a 100 m	Hectométricas
3 MHz a 30 MHz.	HF High Frequency (Frecuencia Alta)	100 m a 10 m	Decamétricas
30 MHz a 300 MHz.	VHF Very High Frequency (Frecuencia Muy Alta)	10 m a 1 m	Métricas
300 MHz a 3.000 MHz.	UHF Ultra High Frequency (Frecuencia Ultra Alta)	1m a 10cm	Decimétricas
3 GHz a 30 GHz.	SHF Super High Frequency (Frecuencia Super Alta)	10 cm a 1 cm	Centimétricas
30 GHz a 300 GHz.	EHF Extremely High Frequency (Frecuencia Extremadamente Alta)	1cm a 1mm	Milimétricas

Fuente: Tomada de Digital Satellite Communications

### 3.2 Banda C frente a Banda Ku

La banda C algunas veces es utilizada en los enlaces de comunicación satelital en el rango de 5.725 a 7.075 GHz para el enlace de subida y el rango de 3.4 a 4.8 GHz para el enlace de bajada. Sin embargo, es más utilizada en los enlaces de comunicación por microondas terrestres, y además de presentar problemas de atenuación de la señal por lluvia, se ha saturado demasiado haciendo necesario utilizar la banda Ku.

En la comunicación satelital, la banda Ku para el enlace de subida esta en el rango de 12.75 a 14.8 GHz y en el enlace de bajada en el rango de 10.7 a 12.3 GHz o 12.5 a 12.7 GHz.

La banda Ku (12/18 GHz), por encontrarse en un rango mayor de frecuencias comparado con la banda C (4/8 GHz), transmite a frecuencias más altas, por lo tanto nos ofrece varias ventajas como lo son:

1. *Mayor cantidad de operadores:* Muchas compañías que proveen el servicio de enlaces de comunicación satelital, ofrecen los servicios en la banda Ku, porque ésta transmite a frecuencias más altas que la banda C.

2. *Menor costo de implementación:* Los costos de implementación de los sistemas terrestres transmisores y receptores VSAT para la banda Ku, son la cuarta parte de los de banda C. Esto es porque a una mayor frecuencia corresponde un menor tamaño de las antenas transmisoras y receptoras. O bien, para un mismo tamaño de antena, comparado con la banda C, corresponde una menor potencia de transmisión de los amplificadores.

3. *Menor costo de mantenimiento Preventivo y Correctivo:* Debido al bajo costo en el precio de los equipos y módulos electrónicos, los costos del mantenimiento preventivo y correctivo para las estaciones terrenas son considerablemente menores.

4. *Menor tamaño de estructura:* La estructura y el tamaño de las antenas parabólicas utilizadas para la banda Ku, son al menos tres veces más pequeñas que las utilizadas para la banda C, facilitando su instalación y de ser necesario su reubicación.

5. *Menor Interferencias:* Por estar la banda Ku asignada exclusivamente a las comunicaciones satelitales, las transmisiones no son interferidas por enlaces terrestres, lo que sucedería, si estos enlaces estuvieran en la banda C especialmente en áreas metropolitanas.

### **3.3 Confiabilidad de los Sistemas de Comunicación por Microondas**

Las normas de seguridad para el funcionamiento de los sistemas de comunicación por microondas, hoy en día han alcanzado gran rigidez. Por ejemplo, para un enlace de comunicación por microondas con una longitud de 600 Km, debería contar con un 99.98% de confiabilidad general. Esto equivale a permitir solo un máximo de 25 segundos de interrupción al año por cada enlace.

Las empresas que utilizan sistemas de telecomunicaciones también hablan de una confiabilidad media del orden de 99.9999%, o sea un máximo de 30 segundos de interrupciones por año en los sistemas de microondas de largo alcance.

Sin embargo, la información anteriormente mencionada es válida únicamente para los Sistemas de Comunicación por Microondas que funcionan en condiciones óptimas.

Desafortunadamente, esos porcentajes de confiabilidad del sistema de comunicación son inalcanzables para la mayoría de casos, ya que existen muchos factores que intervienen en el enlace. Entre ellos encontramos, las condiciones meteorológicas, la falla de equipos, el fluido eléctrico deficiente, la distancia y la posición geográfica donde se encuentra ubicado el enlace de comunicación por microondas, entre otras.

Muchas veces es necesario basarse en procedimientos parciales o totalmente empíricos para calcular las interrupciones del servicio de un enlace de comunicación por microondas causado por fallas de propagación de la señal. Los resultados de dichos cálculos generalmente son tomados como Tiempo Fuera de Servicio (TFS) anual por enlace o porcentajes de confiabilidad por enlace.

### **3.4 Confiabilidad de los Sistemas de Comunicación por Satélite**

La confiabilidad de un Sistema de Comunicación Satelital para una Estación Terrena es del 99.95%, garantizando que se cumpla con el objetivo de mantener la comunicación para distancias relativamente grandes, mayores que los 600 Km. Esta confiabilidad se traduce en que las interrupciones no podrán exceder de 4.4 horas anuales para servicios las 24 horas del día, los 7 días de la semana, durante los 365 días del año.

En el caso de las Estaciones Terminales Remotas (VSAT) se requiere de una confiabilidad del 99.5%, lo que implica interrupciones no mayores a 43.8 horas anuales por estación como promedio anual para una comunicación optima.

Los factores que afectan un sistema de comunicación satelital son menores, debido a que el trayecto del enlace no recorre la superficie de la tierra. Al igual que los enlaces de comunicación por microondas, las interrupciones de servicio son tomados como Tiempo Fuera de Servicio (TFS) anual por enlace satelital o porcentajes de confiabilidad por enlace satelital.

### **3.5 Ventajas de la Comunicación por Enlaces de Microondas**

Los sistemas de comunicación por enlaces de microondas son comúnmente utilizados en repetidoras de televisión, redes de enlaces telefónicos y redes con alta capacidad de canales para intercambio de voz, datos y vídeo.

Estos sistemas poseen ventajas significativas sobre otros sistemas de comunicación (cables de cobre, cable coaxial, fibra óptica).

Entre las ventajas encontramos:

1. Mediante la utilización de repetidoras se puede incrementar la distancia cubierta, redireccionar y amplificar las señales de los enlaces de comunicación por microondas.
2. Por estar accesibles los enlaces de comunicación por microondas se pueden realizar, sin dificultad alguna, los mantenimientos preventivos y correctivos de los dispositivos electrónicos, de equipos de comunicación y cableado de antena de las torres, así como también para reemplazar y desmontar las antenas de las torres.
3. Permite lograr mayores distancias de comunicación, sin necesidad de tirar un tendido de cable de cobre, tendido de cable submarino, coaxial, o fibra óptica.
4. No posee un marcado tiempo de vida útil de operación, ya que si se realizan mantenimientos preventivos y correctivos se logrará un largo tiempo de operación.

### **3.6 Desventajas de la Comunicación por enlaces de Microondas**

Las principales desventajas en un sistema de comunicación por enlaces de microondas son:

1. El factor limitante en la propagación de la señal. Ésta se ve afectada a causa de la distancia que debe recorrer la señal, además de la trayectoria o camino del enlace debe ser línea vista ó libre de obstáculos entre el transmisor y el receptor.
2. La trayectoria de propagación de la señal debe poseer una altura considerable sobre los obstáculos en la misma trayectoria, esto se corrige utilizando torres mas altas para ajustar dichas alturas, lo que involucra un mayor costo.
3. Las señales de microondas transmitidas, al viajar desde el transmisor hacia el receptor, se distorsionan y atenúan. Situación que es causada por la reflexión y refracción debido a los obstáculos y superficies reflectoras que se encuentran en la trayectoria, produciendo una distorsión y pérdida de potencia en la señal recibida.
4. Las condiciones atmosféricas pueden causar desvanecimientos intensos y desviaciones de la señal, por lo tanto es necesario utilizar sistemas de comunicación con diversidad y equipos auxiliares, lo que involucra un mayor costo.
5. Un crecimiento incontrolado de la utilización de las microondas, puede dar lugar a problemas en la congestión del espectro, o de interferencias, etc. Algunos plantean

la posibilidad de que cause problemas en la salud humana, sin embargo, este aspecto no está lo suficientemente estudiado, más aun cuando el índice de peligrosidad varia grandemente entre un país y otro.

### **3.7 Ventajas de la Comunicación por Satélite**

1. La comunicación por satélite, permite una rápida implementación de las redes de comunicación tanto propias como a través de operadores de telecomunicaciones para la transmisión de audio, video y datos.
2. Para el usuario o usuarios, una correcta elección del satélite será parte de la optimización del sistema de comunicaciones adoptado. Ya que pueden ser cubiertos con una sola señal de satélite, sin tener que preocuparse en gran medida del problema de los obstáculos.
3. El usuario puede disponer de una amplia cobertura, de toda una región o continente, lo cual es imposible de lograr e igualar con otro sistema de comunicación como fibra óptica o enlaces por microondas.
4. El costo de la interconexión con el satélite desde cualquier punto de su cobertura, depende de la demanda y cantidad de información que los usuarios desean manejar y es independiente de las distancias a interconectar.

5. Esta comunicación es ideal en lugares o países con alto grado de saturación del espectro radioeléctrico (bandas de radiodifusión terrestre ó servicios fijos). Debido a que en la comunicación entre dos estaciones terrenas, no se necesita de un gran número de repetidoras puesto que solo se utiliza un satélite.
  
6. Grandes cantidades de ancho de banda están disponibles en los circuitos satelitales generando mayores velocidades en la transmisión de voz, datos y vídeo.

### **3.8 Desventajas de la Comunicación por Satélite**

1. Debido a la distancia que recorre una señal desde el satélite hacia la estación terrena, el tiempo del retardo entre el Uplink y el Downlink es de aproximadamente un cuarto de segundo, o de medio segundo para una señal de eco. Por lo que es necesario contar con equipos adecuados para evitar o disminuir este retardo.
  
2. Las lluvias intensas atenúan las señales, tanto en el enlace de subida como el de bajada. La intensidad del efecto depende de la frecuencia, en terrenos elevados el efecto disminuye sensiblemente.
  
3. Las tormentas solares causan eyecciones de masa coronal (CME), que pueden ser peligrosas para los satélites que danzan dentro y fuera de los cinturones de radiación solar. Los electrones de alta energía, excitados y acelerados por una tormenta, pueden degradar los paneles solares empleados para proveer energía a los satélites, alterar y aún apagar sus computadoras. Por ejemplo, en Marzo de 1989 las CME

produjeron una poderosa tormenta magnética. Después que las partículas y la energía bombardearon la Tierra, más de 1500 satélites disminuyeron su velocidad o perdieron varios kilómetros de altura en sus órbitas, debido a la creciente fricción con la atmósfera.

### **3.9 Comparación de los Sistemas de Comunicación**

Anteriormente se evaluaron las ventajas y desventajas de cada sistema de comunicación, pudiéndose observar que son mayores las ventajas que posee un Sistema de Comunicación Satelital en comparación con un Sistema de Comunicación por Microondas. Así como también son mayores las desventajas que el Sistema de Comunicación por Microondas presenta. Por lo tanto se podría decir que un Sistema de Comunicación Satelital, tomando en cuenta las ventajas y las pocas desventajas comparadas con un Sistema de Comunicación por Microondas y otros sistemas, es el más recomendable para usuarios que necesitan de una comunicación a distancia con tecnología de punta en la comunicación de audio, video y datos, sin mayores dificultades.

Hoy en día podemos encontrar muchas aplicaciones que brindan los sistemas de comunicación por satélite, dentro de estas encontramos: Radio, Televisión, Redes de datos públicas, Redes de datos privadas, sistemas VSAT, Circuitos permanentes o bajo demanda, etc.

Analizando los sistemas de comunicación anteriormente descritos, basándonos en sus aplicaciones, capacidad de comunicación, ventajas y desventajas, se puede sugerir al Sistema de Comunicación Satelital como el más adecuado, para realizar la interconexión de los Radares Aurora y Tikal como un Sistema de Comunicación Alterno.



## 4. DESCRIPCIÓN DEL RADAR Y EQUIPOS AUXILIARES

### 4.1 Historia del Radar

En 1936 Page y Young desarrollan el primer radar pulsado, llegando a tener un alcance de 25 millas. Page y Young se basaron en las ecuaciones de James Maxwell que gobiernan el comportamiento de las ondas electromagnéticas. Debido al éxito que tuvo, el ejército norteamericano e inglés potenciaron el desarrollo de la tecnología y la teoría del radar.

En 1938 entra en servicio en la costa este y sur de Inglaterra un grupo de antenas conocidas como “chain home” para servir como medio de alerta temprana ante ataques aéreos. El origen se encuentra en los sistemas IFF (Identification Friend or Foe), esta identificación se lograba comparando visualmente la intensidad de los retornos de las ondas electromagnéticas, por lo que el Radar, debe su nombre al acrónimo “Radio Detection And Ranging”.

Un radar es un sistema de teledetección, que emite ondas electromagnéticas y analiza las ondas recibidas del entorno. Esto se lleva a cabo a través de sensores que son capaces de emitir un haz energético propio, que poco después se recoge tras su reflexión sobre la zona o superficie que se pretende observar. Por lo tanto las funciones del radar son detectar, localizar e identificar.

En 1953 se ofrece el primer radar para uso civil como sistema común para el Control de Tráfico Aéreo (CTA), estableciéndose las frecuencias para su operación. Dentro de las clasificaciones del radar, podemos encontrar dos tipos de radares para uso de la navegación aérea, *Radar Primario* y *Radar Secundario*.

## 4.2 Radar Primario (PSR)

El radar primario de vigilancia (Primary Surveillance Radar), tiene la función de transmitir ráfagas de ondas electromagnéticas hacia el espacio. Las cuales se reflejan sobre los cuerpos sólidos en los que impactan (blanco), y es así como estas señales son recibidas nuevamente por PSR. Esto da como resultado una señal luminosa en la pantalla del CTA. Debido a que, el radar primario no proporciona mayor información sobre las señales que aparecen en la pantalla, es el controlador de tráfico aéreo quien deberá correlar las señales presentadas en la pantalla, con la ayuda de la comunicación constante con la aeronave, para mantener control sobre dicha aeronave en vuelo.

## 4.3 Radar Secundario (SSR)

El radar secundario de vigilancia (Secondary Surveillance Radar), inicia su operación al transmitir señales de interrogación hacia el espacio, estas señales son captadas por la aeronave (blanco). Al recibir estas señales, la aeronave emite respuestas a través de su equipo instalado a bordo (Transpondedor) hacia el SSR, de esta forma se visualiza un código en la pantalla del CTA. Esta es la función principal del radar secundario, que se lleva a cabo a través de sus dos elementos básicos: el *Interrogador* (Radar Secundario) instalado en tierra y el *Transpondedor* instalado a bordo de la aeronave.

De esta forma un Sistema de Radar Secundario proporciona vigilancia en tierra, de todas las aeronaves que están equipadas con transpondedor, haciendo posible la comunicación de datos entre el CTA y dichas aeronaves.

### **4.3.1 Modos de Interrogación de Radar Secundario**

Actualmente, los sistemas de radar secundario son compatibles para uso tanto civil como militar, mediante interrogaciones en seis modos 1, 2, 3/A, B, C y D. Estas interrogaciones proporcionan respuestas que contienen información, indicando el código, la altura, velocidad y posición de la aeronave.

El principal modo de interrogación es el 3/A, modo militar/civil de uso común que es utilizado para la identificación general. Cada aeronave identifica con valores distintos sus pulsos de respuesta en el orden A-B-C-D. Estos valores generan códigos que identifican tipo de vuelo, el origen ó el destino de una aeronave. Los modos A/C proporcionan, además de la notificación de la posición, funciones rudimentarias de enlace de datos para notificar la identidad de la aeronave y la altitud. La capacidad del Radar Secundario para interrogar (máximo número de aeronaves por exploración) se basa en la densidad pronosticada de tráfico local. Una capacidad de 400 aeronaves por exploración es suficiente en la mayoría de las regiones del mundo.

### **4.3.2 Transpondedor**

El transpondedor es un equipo electrónico compacto que utilizan las aeronaves abordo. Es el encargado de recibir y transmitir información al radar a través de frecuencias definidas por el equipo interrogador del radar. La frecuencia de operación del transpondedor de la aeronave cuando recibe la interrogación es 1030 MHz y cuando transmiten la respuesta es 1090 MHz.

El transpondedor posee un display que muestra un código de 4 números, para que el piloto de la aeronave seleccione cada dígito según el código asignado por el CTA. Dentro de los códigos que se pueden asignar, existen códigos definidos ó códigos especiales que pueden ser asignados manualmente ò automáticamente.

Dichos códigos son de gran valor para indicar dificultades especiales al CTA, en circunstancias donde no sea posible que la tripulación de la aeronave se comunique por medio de los canales de voz utilizados normalmente. Universalmente, se utilizan tres códigos especiales para indicar condiciones de emergencia: 7700 Emergencia, 7600 Falla de comunicaciones, 7500 Secuestro.

#### **4.4 Comparación del Radar Primario con el Radar Secundario**

La antena del radar primario opera en el rango de 2700 a 2900 MHz, y es la encargada de establecer la posición y distancia de la aeronave. Por su parte la antena del radar secundario opera interrogando a 1030 MHz y recibiendo las respuestas a 1090 MHz, estableciendo un enlace de comunicación con la aeronave a través de su transpondedor. El transpondedor de la aeronave recibirá la interrogación a 1030 MHz y responderá a 1090 MHz. En el caso que la antena del radar secundario este montada sobre la antena del radar primario, ambas señales son integradas e interpretadas simultáneamente para ser mostradas en la pantalla del controlador de tráfico aéreo.

El radar secundario se diferencia del radar primario porque recibe respuestas activas, mientras que el radar primario simplemente recibe el reflejo de la ráfaga emitida, indicando únicamente la posición y distancia de la aeronave. Por lo tanto las respuestas activas tienen la ventaja de acompañar a las señales que aparecen en la pantalla con un código que permite identificar y saber la altitud de las aeronaves. Proporcionando así, una mejor vigilancia de las aeronaves que el radar primario.

El principal carácter diferenciador del radar secundario con respecto al radar primario es la existencia de un equipo transpondedor a bordo de la aeronave, y el empleo de potencias de transmisión menores a las utilizadas en el radar primario.

Por lo tanto, podemos decir que el sistema de radar secundario mejora la identificación de las aeronaves al asignarles un código que permite reconocerlas. De este modo es más fácil para el controlador de tráfico aéreo reconocer en la pantalla las aeronaves en vuelo y diferenciarlas.

#### **4.5 Descripción del Sistema Radar Primario ASR-10SS**

El radar primario de vigilancia ASR-10SS fue producido por RAYTHEON Canadá Limited, y se encuentra instalado en Cabecera de Radar Palencia, Guatemala. Dicho radar posee dos canales, un canal operativo y otro en reserva para casos de falla. Fue construido totalmente con tecnología de estado sólido, posee 8 módulos transmisores, con un sistema integrado de control, supervisión y diagnóstico.

Su capacidad en la detección automática de fallas y reconfiguración del equipo es posible gracias al envío remoto de datos de estado desde el Centro de Control, a través del SRG, minimizando así, el tiempo requerido para solución de fallas que se pudieran presentar en el Sistema de Radar, y permitiendo la planificación de operaciones de mantenimientos preventivos y correctivos. El sistema instalado puede ser fácilmente ampliado para satisfacer las demandas de un incremento en el tráfico aéreo que puedan surgir en el futuro. Emplea la última tecnología en técnicas de detección, asegurando una gran fiabilidad de operación. El sistema está formado por los siguientes bloques funcionales:

- Grupo de pedestal y antena.
- Transmisor de estado sólido.
- Receptor y excitador.
- Grupo de procesamiento de la señal (SDP).
- Combinador de plots y formateador de datos.
- Equipo de control y visualización del radar.
- Equipo de control de la estación de radar e interfaz de datos.

#### **4.5.1 Descripción Funcional del Radar Primario ASR-10SS**

La antena utiliza un reflector de doble curvatura con dos bocinas de transmisión para los haces principal (bajo) y auxiliar (alto). Permite seleccionar la polarización lineal o circular. La polarización lineal es el modo de funcionamiento normal para obtener la máxima probabilidad de detección de blancos. Por su parte, la polarización circular puede seleccionarse para mejorar la visibilidad de blancos en condiciones de “clutter” producido por la lluvia. La parte de soporte posterior y el sistema de giro están diseñados con mecanismo de giro duplicados para acoplar una antena de radar secundario encima de la antena del radar primario.

Todos los equipos amplificadores de los transmisores se configuran como unidades independientes. Cualquier modulo transmisor dañado puede desconectarse y sustituirse mientras el resto sigue funcionando, sin afectar al funcionamiento del radar. Todos los restantes subsistemas electrónicos, disponen de un sistema redundante en doble canal.

El detector de blancos móviles (MTD) proporciona un canal de procesamiento para los ecos meteorológicos y desarrollar así un contorno de mapa meteorológico. Las salidas del proceso que contiene distancia y acimut de las trazas detectadas, son enviadas junto con los datos suavizados de rumbo y velocidad, a un sistema doble y redundante de LANs. Las dos salidas de los circuitos de seguimiento son dirigidas al combinador de blancos, que combina y formatea los blancos de los radares primario y secundario, y transmite los datos combinados al CC, para su presentación, por medio de la interfaz remota de comunicaciones. Los datos de entrada de los dos radares se ordenan de la siguiente forma: información meteorológica, información de estado, información sobre blancos/trazas del radar primario, e información sobre blancos/trazas del radar secundario. El sistema de radar esta diseñado para funcionar de forma continua, e incluye una gran cantidad de circuitos de autoprueba, así como un control que detecta automáticamente las fallas y reconfigura el sistema para conmutar al canal o equipo de reserva desde el SRG o a través del SLG.

#### 4.6 Sistema de Radar Secundario Monopulso ISR-20

El Sistema de Radar Secundario Monopulso (MSSR), esta formado por dos radares que se encuentran instalados uno en Cabecera de Radar Palencia, Guatemala y otro instalado en Cabecera de Radar San Andrés, Peten. El termino monopulso, se deriva de la capacidad de un sistema para determinar la dirección de llegada de una señal de radar recibida, usando solo un pulso de dicha señal. Esto significa que por cada pulso de respuesta generado por la interrogación, es posible determinar el azimut de la aeronave.

Las secuencias pregunta-respuesta se encuentran codificadas en trenes de pulsos, por lo que la OACI rige el número de pulsos de interrogación y separación en el tiempo.

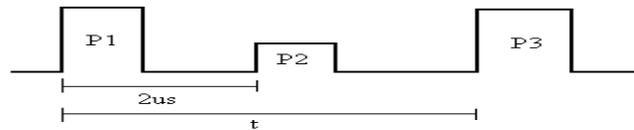
La interrogación esta formada por tres pulsos P1, P3 y P2 siendo transmitido este ultimo con el fin de suprimir los efectos de la interrogación por lóbulos laterales del diagrama principal de radiación del haz interrogador ISLS. La separación entre los pulsos de interrogación P1 y P3 emitidos por un haz principal, define el “modo” de interrogación, que se ha establecido con la finalidad siguiente:

**Tabla V. Modos de Interrogación del Radar Secundario**

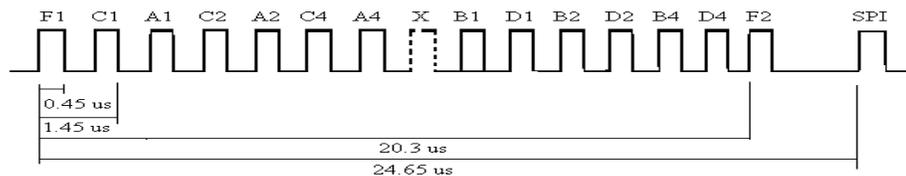
<b>MODO</b>	<b>APLICACIÓN</b>	<b>FUNCION</b>	<b>TIEMPO ENTRE P1 Y P3 (µs)</b>
1	MILITAR	IFF	3
2	MILITAR	IFF	5
3/A	CIVIL/MILITAR	IDENTIFICACION	8
B	CIVIL	IDENTIFICACION	17
C	CIVIL	ALTITUD	21
D	CIVIL	NO ASIGNADA	25

Fuente: Manual del Sistema Radar Secundario Monopulso

**Figura 12. Transmisión de los pulsos P1, P2, y P3 en la Interrogación del Radar**



**Figura 13. Transmisión de los pulsos F1, F2, SPI del Transpondedor de la Aeronave**



La frecuencia portadora para los pulsos de interrogación es de 1030 MHz (banda L) y la frecuencia portadora de los pulsos de las respuestas es de 1090 MHz (banda L), estos pulsos pueden ser de dos a quince. El primero y el último enmarcan la respuesta, estando separados 20.3 μS. Entre estos dos hay 12 pulsos codificados y espaciados 1.45 μS. Los pulsos pueden asociarse en 4096 combinaciones codificadas en cuatro dígitos octales, con la finalidad de identificación, altitud, emergencia y otros tipos de mensajes.

La aplicación de la técnica monopulso permite una estimación más precisa del ángulo de acimut que define la posición de la aeronave a través de la señal monopulso de comparación de amplitud, comparación de fase y procesador. La medición de acimut de una aeronave viene asociado al procesamiento de dos señales en recepción. El procesador monopulso compara las señales recibidas a través de dos canales independientes, evaluando instantáneamente la posición de la aeronave mediante un solo pulso de respuesta del transpondedor. En la practica, se emplea un mayor numero de pulsos sincronizados (dos como mínimo: F1 y F2) para formar una respuesta valida y las respuestas no sincronizadas con la interrogación son eliminadas.

#### **4.6.1 Descripción del Sistema Radar Secundario Monopulso ISR-20**

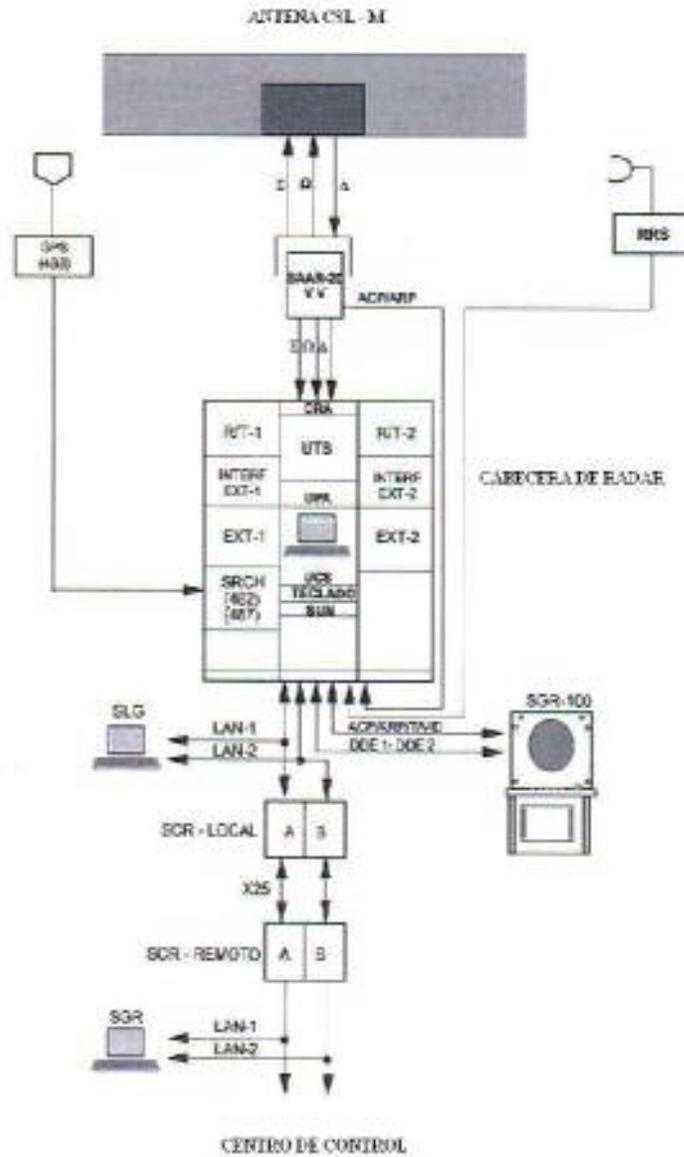
El modelo del radar secundario monopulso, instalado en las Cabeceras de Radar, es el ISR-20, que es fabricado por INDRA SYSTEMAS de España. Dicho sistema presenta una alta precisión del azimut de la aeronave. Esto es gracias a la corrección de puntería que efectúa la función monopulso, que se lleva a cabo a través de sus elementos funcionales: Antena, Receptor y Procesador. El video obtenido es procesado para extraer la información sintética que corresponde a cada aeronave (distancia, acimut, código de identificación, etc.). Esta información es procesada en formato ASTERIX y DDE para que pueda ser utilizada por el sistema.

El equipo de radar esta diseñado en unidades modulares, e integrado a un sistema de prueba y supervisión. Dicho sistema presenta indicaciones de fallo a nivel de módulos y tarjetas, con el fin de facilitar la detección y el aislamiento de fallas. La configuración del sistema es de doble canal, de tal forma que un canal se encuentra operativo mientras que el otro esta en reserva activa. Permitiendo así, una conmutación automática en caso de falla en el canal operativo. El sistema esta formado por los siguientes bloques funcionales:

- Antena, (Open Array) CSL-M
- Sistema de Arrastre, (Pedestal) SAAR-20VV.
- Interrogador Radar Monopulso.
- Sistema Local de Gestión (SLG) y Sistema Remoto de Gestión (SRG).
- Sistema de Comunicaciones Radar (SCR/L, SCR/R).
- Sistema de Presentación Grafico (SRG – 100).

El radar tiene un alcance máximo de 250 MN. En cada uno de sus canales se pueden transmitir interrogaciones y recibir respuestas. El estado de funcionamiento de un canal es opcional, podrá estar en uno de los cuatro estados: OPERATIVO, RESERVA, MANTENIMIENTO, TEST. Los parámetros generales del radar tienen los mismos valores en los canales Operativo y Reserva.

Figura 14. Sistema Radar Secundario Monopulso IRS-20



Fuente: Procedimiento de Mantenimiento Sistema Radar Secundario Monopulso

#### **4.6.2 Descripción del Sistema de Relojería Central Horaria**

El sistema usado para fechar con tiempo UTC los eventos del radar, principalmente los datos formateados en ASTERIX, están basado en un sistema GPS. Este sistema esta compuesto por: receptor y antena GPS, dos relojes patrón y una unidad de Conmutación y Supervisión. La señal GPS recibida por la antena se amplifica en su circuito y se envía al modulo receptor para su proceso. El receptor recibe la información de los satélites, y mediante un proceso de triangulación, puede calcular su propia posición junto con la hora local exacta.

Tras conseguir contacto con 3 satélites, el sistema calcula con precisión la fecha y hora a partir de la información recibida. Cuando la información horaria es disponible y exacta, él modulo receptor/decodificador envía señales de sincronización a cada minuto. La unidad de Conmutación y Supervisión, esta diseñada para seleccionar de modo automático, uno de los dos relojes utilizados como operativo y reserva en una central horaria.

#### **4.6.3 Descripción de la Unidad de Control y Supervisión**

La UCS controla los parámetros de operación del radar y supervisa el buen funcionamiento del mismo, además esta interconectada con los dos Extractores (EXT1 y EXT2), mediante las LAN1 y LAN2, desplegando la información bajo el entorno Gráfico MOTIF con un sistema operativo UNIX.

El Interfase Gráfico esta formado por Botoneras, Menús, Campos de Edición, Campos de Selección y Ventanas Gráficas de color Verde, Amarillo, Rojo. Siempre que se detecte una alarma en un elemento de Radar, estará de color ROJO en el nivel superior. Aparecerá un mensaje explicando las posibles causas de la alarma y podrá bajar al nivel inferior de los componentes individuales del elemento, para realizar el mantenimiento correctivo ó preventivo.

#### 4.7 Sistema de Comunicaciones Radar

El propósito de los SCR, es establecer de forma redundante los enlaces de datos entre las Cabeceras de Radar y los Centros de Control. El sistema de comunicación lo componen dos unidades, SCR/L situado en Cabecera Radar y el SCR/R situado en el Centro de Control. Los flujos de datos a transmitir se dividen en dos categorías: Datos Radar y Datos de Gestión-Mantenimiento. Los datos Radar son flujos unidireccionales desde la CR al CC y los Datos de Gestión-Mantenimiento son flujos bidireccionales entre la CR y el CC.

*Los datos Radar* son: ASTERIX, DDE1, DDE2 que provienen de los extractores del radar. Cada extractor puede generar los tres flujos de datos, según la configuración del radar, e inyectarlos en las LAN (EXT1 en la LAN1 y el EXT2 en la LAN 2).

*Los datos de Gestión y Mantenimiento* son: Datos de Gestión del Radar (dos flujos de datos GEST1 y GEST2), datos de Mantenimiento de otros equipos no-radar de la Cabecera de Radar, y dos flujos de datos de mantenimiento (MTO1 y MTO2). Los datos de gestión son generados en la CR, por la UCS/SLG para ser enviados al SRG ubicado en el CC, y en el CC, estos datos son generados por el SRG para ser enviados a la CR. El enlace de comunicación de los SCR, tiene un ancho de banda de 19200 bps, con un protocolo X.25. Los 19200 bps se reparten de la siguiente manera (valores medios):

- AST: 9600 bps que es equivalente a 35.29 mensajes/seg, cada mensaje de 272 bits
- DDE1: 2400 bps que es equivalente a 17.65 mensajes/seg, cada mensaje de 136 bits
- DDE2: 2400 bps que es equivalente a 17.65 mensajes/seg, cada mensaje de 136 bits

El sistema de comunicaciones por enlaces de microondas, cuenta con dos canales por motivos de redundancia. Es decir que ambos canales pueden controlar los SCR, pero solo un canal se mantiene operativo y el otro en reserva, de modo que cuando el operativo falla, el canal de reserva entra en operación automáticamente.

#### **4.8 Sistema de Vigilancia para el Control de Tráfico Aéreo (CTA)**

El Sistema de radar para vigilancia aérea, usualmente esta compuesto por un radar secundario asociado a un radar primario. Ambos radares sincronizan la dirección y temporización de sus transmisores para permitir la obtención de datos inequívocos de las aeronaves, de forma que aumente el nivel de confianza de la información presentada al usuario del CTA.

El sistema radar suministra la información procedente de las aeronaves no equipadas con transpondedor como “plots”, y las equipadas con transpondedor, como respuestas codificadas de acimut y distancia, identificación, altitud, etc., lo que permite la localización e identificación de las aeronaves que operan en el área.

El Sistema de Radar Primario y Secundario de vigilancia para el control del tráfico aéreo, esta formado por una Cabecera de Radar, en donde se encuentra instalada la Antena y Equipos del Radar, y a su vez esta interconectada con su respectivo Centro de Control, donde se encuentra el CTA, interconectado con la Torre de Control.

#### **4.9 Sistema de Radar Aeropuerto Internacional La Aurora - Tikal**

En el año 1998 la empresa INDRA SISTEMAS originaria de España, inicio los trabajos del proyecto que consistía en la instalación y montaje de un Sistema de Radar para el control de la navegación aérea en toda la región, estos trabajos se concluyeron a finales del año 2000, quedando el Sistema de Radar en operación, con una garantía de dos años para el soporte técnico y el reemplazo de partes dañadas durante este periodo.

Este sistema esta formado por una Cabecera de Radar llamada *Palencia*, ubicada en el municipio de Palencia, departamento de Guatemala. Allí se encuentra instalado un Radar Primario ASR-10SS y sobre éste, acoplado un Radar Secundario Monopulso IRS-20.

Dichos radares están interconectados a través de un enlace de comunicación por microondas con su respectivo Centro de Control Aurora, ubicado en el aeropuerto Internacional La Aurora. Así mismo se encuentra instalada una Cabecera de Radar llamada *Niktún*, ubicada en el municipio de San Andrés, departamento de Petén, donde se encuentra instalado un Radar Secundario Monopulso IRS-20.

Este radar esta interconectado a través de un enlace de comunicación por microondas con su respectivo Centro de Control Tikal, que esta ubicado en el aeropuerto Internacional Tikal, Santa Elena, Petén.

La información proveniente de las aeronaves detectadas, es trabajada por la cabecera de radar, y la información obtenida es enviada en un formato de comunicación adecuado hacia su respectivo centro de control. Donde se extrae la información para que estos datos sean procesados y presentados al controlador de tráfico aéreo, a través de pantallas de monitoreo. La información presentada es la siguiente: código de la aeronave, altitud, localización en el mapa de la república y países vecinos, velocidad, rumbo, estimado de llegada a su origen, etc.

#### **4.10 Elementos que componen la Cabecera de Radar y el Centro de Control**

*Sistema de Alimentación ininterrumpida (UPS):* En el caso que el fluido de la energía comercial se suspenda, la UPS tiene la capacidad para mantener en operación el sistema de radar en el lapso de tiempo que tarda la transferencia automática en suministrar la energía de la planta de emergencia a todos los equipos del radar y equipos periféricos. Posee una autonomía de seis horas para suministrar energía a los equipos de radar y motor de la antena, en caso extremo que la planta de emergencia no arrancara ó fallara.

*Sistema de Arrastre y Antena:* Está formado por el motor eléctrico y la caja reductora de velocidad, que rota la Antena que detecta las aeronaves. Para tener una mejor cobertura y estar libre de obstáculos, la antena se encuentra ubicada en el punto más alto, sin embargo, debido a esto, esta muy propensa a las descargas eléctricas. Para contrarrestar este inconveniente, la antena cuenta con un sistema de protección de tierras para prevenir cualquier descarga.

*Equipos y Módulos de Radar:* estos se encuentran instalados en varios racks ó shelter donde se ubican los transmisores, receptores, extractores, módulos de control, sistema de comunicación, sistema horario, módulos de prueba, etc.

*Sistema de Grupos Electrógenos:* está compuesto por la planta de emergencia que provee una alimentación trifásica de (208/120V, 3 Fases, 60 Hz, 250 Amperios, 1800 RPM y FP = 0.8). Por medio de la SRG o SLG, se puede visualizar el estado del sistema, alarmas, arranque ó parada, nivel del combustible, y el suministro de energía. Posee un sistema de transferencia automática que permite detectar la falta y reestablecimiento de la energía comercial, así como la falta de una ó más fases.

*Sistema de Aires Acondicionados:* Esta compuesto por dos o más unidades de aires acondicionados para proporcionar una temperatura adecuada a todos los equipos, módulos del radar y ambientes del edificio. A través de un sistema de control automático se puede programar la secuencia de trabajo entre los equipos durante las 24 horas los 365 días del año. Así como también, permite el control para mantener el equipo que se encuentra en reserva listo para accionarse en caso que el operativo tuviera un desperfecto y fallara.

*Sistema Contra Incendios:* Esta compuesto por sensores de humo en todos los ambientes y en lugares especiales donde están colocados los equipos de radar, estos al accionarse, activan una alarma audible que advierte a todo el personal para que evacuen el área de incendio. A través de un panel de control se puede visualizar el área de incendio y permite accionar manualmente o automáticamente los extinguidores.

*Sistema Contra Intrusos:* Posee un control local/remoto que activa las alarmas audibles y de visualización a través de una pantalla desde una posición remota. Los equipos que detectan estas anomalías se componen por sensores de movimiento dentro de las instalaciones (personas no autorizadas dentro de la sala de equipos) y manipulación de equipos (puerta de acceso a la antena, módulos y equipos del radar).

*Sistema de Comunicaciones:* Compuesto por dos redes LAN, una operativa y la otra en reserva. Su configuración permite que la LAN en reserva pueda operar automáticamente en caso que fallara la LAN operativa. Estas están conectadas a los SCR para manejar toda la información del Sistema de Radar. Los CNR son equipos que controlan los datos no radar, entre ellos se encuentran: Sistema UPS, Sistema de Grupos Electrónicos, Sistema de Aires Acondicionados, Sistema Contra Incendios, y el Sistema Contra Intrusos. Toda esta información es procesada en el la SLG y SRG para su visualización a través del monitor.

*Sistema de Computo:* Compuesto por todo el equipo de computo, que incluye: UAST (procesan la información recibida de la antena en formato adecuado para las RDP), RDP (procesan los datos radar para que sean presentados en las SDD), SDD (pantallas de monitoreo del CTA), FDP (procesan los planes de vuelo relacionados con los datos radar), FDD (permiten la introducción, almacenamiento y visualización de planes de vuelo en proceso), DRF (permiten la grabación, reproducción y almacenamiento de datos), TSP (monitoreo, supervisión y visualización de alarmas de todo el sistema de computo en el CC y Torre de Control), SLG (permite el monitoreo y visualización de las alarmas presentadas en la CR), SRG (permite el monitoreo y visualización de alarmas presentadas en todo el sistema de radar, que incluye los sistemas de la CR y CC).

Es importante reiterar que todos los sistemas nombrados anteriormente están instalados en la CR como en el CC. Sin embargo, existe una excepción, el Sistema de Arrastre y Antena, Equipos y Módulos de Radar se encuentran instalados únicamente en la CR. Así como el Sistema de Computo se encuentra instalado únicamente en el CC.

## **5. SISTEMA SATELITAL COMO SISTEMA DE COMUNICACIÓN ALTERNO**

Como se ha venido mencionando a lo largo de esta tesis, es importante contar con un sistema alterno para la comunicación entre el Centro de Control Aurora y el Centro de Control Tikal. Esto se debe especialmente a las diversas fallas que presenta el Sistema de Enlaces por Microondas que actualmente interconecta dichos Centros de Control. Fallas que son causadas por cambios meteorológicos, por descargas eléctricas en invierno o por problemas del fluido eléctrico, entre otras, y que afectan el buen funcionamiento del sistema de comunicación entre los radares.

Por lo tanto, luego de evaluar tanto las ventajas como las desventajas del sistema, se sugiere que sea instalado un Sistema de Comunicación Satelital para que funcione como sistema alterno de comunicación para la interconexión entre ambos radares.

### **5.1 Interconexión Actual del Sistema de Radar**

La Dirección General de Aeronáutica Civil, posee un sistema propio de comunicaciones por microondas que utiliza para realizar la interconexión del Sistema de Radar Aurora y el Sistema de Radar Tikal. Cada Sistema de Radar esta compuesto por su Cabecera de Radar y su respectivo Centro de Control.

Ambas cabeceras de radar se encuentran interconectadas con su respectivo Centro de Control, a través de un enlace de comunicación por microondas de corto alcance. Tanto en el Aeropuerto Internacional Aurora como en el Aeropuerto Internacional Tikal, se encuentra ubicado un Centro de Control, y es aquí donde se procesa toda la información proveniente de la Cabecera de Radar. Esta información indica todo lo referente a las aeronaves que circulan dentro de la cobertura del radar en ese preciso momento.

Es importante tomar en cuenta que cada Sistema de Radar puede operar individualmente con un enlace máximo de 250 Millas Náuticas de cobertura en la detección de aeronaves. Sin embargo, el alcance de la cobertura se incrementa gracias a la interconexión entre los radares.

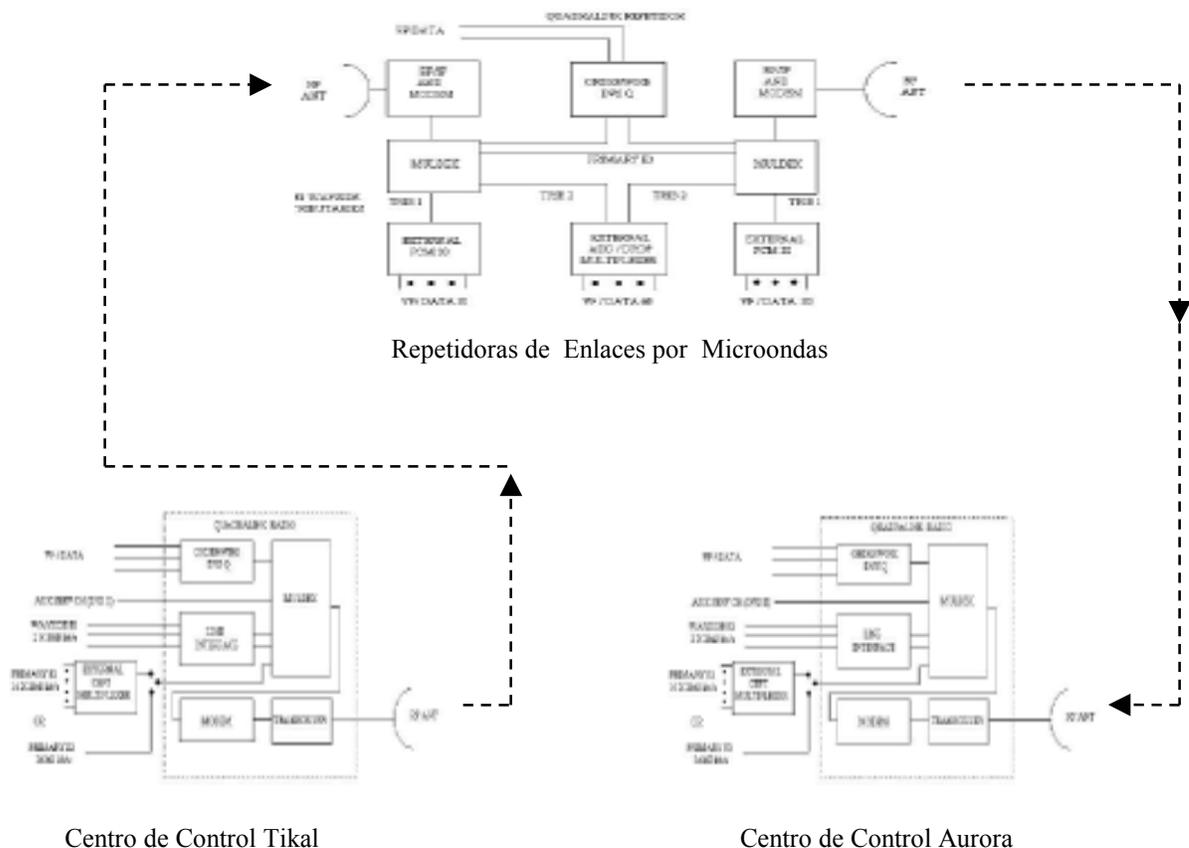
De tal manera que, la información de cada radar se integra para ser presentada en la pantalla CTA, permitiéndole así, tener una mayor cobertura de la región. Además, ofrece la ventaja de servir como respaldo, ya que permite continuar con la detección aun en caso de que uno de los dos sistemas de radar fallara, lo que equivale a una mayor seguridad para la navegación aérea.

Para poder realizar la comunicación entre los dos Sistemas de Radar, se cuenta con un Sistema de Comunicación por Microondas para interconectar el Centro de Control Aurora con el Centro de Control Tikal, este enlace de comunicación tiene un recorrido aproximado de 400 kilómetros, y a lo largo de este, se encuentran repetidoras de enlace. Debido a la distancia de separación entre algunos puntos, es necesario utilizar métodos para evitar la degradación o pérdida de señal, que causarían la pérdida de la comunicación.

## 5.2 Como funciona actualmente la Interconexión

La interconexión de los Centros de Control, permite una comunicación constante durante las 24 horas los 365 días del año, por medio de un enlace de comunicación por microondas de largo alcance, formado por repetidoras de enlace, de las cuales podemos mencionar: Cabecera de Radar Palencia (Guatemala), Xúcaneb (Cobán), Sayáxche (Petén), Sabanetas (Petén), Purusila (Petén), y Cabecera de Radar San Andrés (Petén).

**Figura 15. Interconexión del Sistema de Radar por Enlaces de Microondas**



En el departamento de Petén, la estación de invierno dura aproximadamente siete meses del año, y durante esta temporada las interrupciones en el enlace se presentan a menudo. Además, estas estaciones repetidoras, debido a su ubicación en los puntos más altos del terreno, sufren constantemente descargas eléctricas. Esto se debe a que algunas no cuentan con sistemas adecuados de protección contra las descargas eléctricas, y en consecuencia, causan daños a los equipos de comunicación y equipos auxiliares.

Por otra parte, debido a las constantes interrupciones del suministro de energía eléctrica comercial en el departamento de Petén, las repetidoras tienen que trabajar con energía de su planta de emergencia durante largos periodos de tiempo. Esto causa que las plantas, debido al trabajo continuo, presenten diversas fallas mecánicas y eléctricas, lo cual lleva a la interrupción del enlace de comunicación. Los costos aproximados de operación del sistema en mención aparecen en la siguiente tabla.

**Tabla VI. Costos de operación del actual enlace de microondas por año**

<b>Costos de Operación de las seis Repetidoras de Enlace por Microondas</b>			
<b>Requerimientos</b>	<b>Hora (Q)</b>	<b>Mensual (Q)</b>	<b>Anual (Q)</b>
Costo por interrupcion del Enlace/hora	2.000,00		
Repuestos Equipos de Repetidoras			100.000,00
Consumo Energia Repetidoras		3.000,00	36.000,00
Mantenimiento Aires Acondicionados			40.000,00
Consumo Diesel de Plantas	50,00	4.000,00	50.000,00
Mantenimiento Plantas de Emergencia			40.000,00
Depreciacion de Vehiculo			30.000,00
Consumo de Combustible del Vehiculo			30.000,00
Mantenimiento de Estacion			50.000,00
Salario Personal Guardiania		28.000,00	336.000,00
Otros			50.000,00
<b>Total</b>			<b>762.000,00</b>

### 5.3 Requerimientos del Sistema de Radar

Para el buen funcionamiento del Sistema de Radar, es necesario contar con un sistema alternativo de comunicación. Como ya se mencionó anteriormente, el Sistema de Comunicación Satelital es el más adecuado por las cualidades que presenta. El operador de comunicaciones satelitales deberá brindar un servicio que sea compatible con el sistema de comunicación actual que realiza la interconexión de los Centros de Control. Así mismo es necesario que posea la capacidad para expandir el flujo de información en un futuro. Además, es importante que exista una comunicación ininterrumpida entre los Centros de Control, para evitar la pérdida de información entre los radares. La interconexión del sistema de radar cuenta con lo siguiente:

- Para la comunicación entre los Centros de Control, el Sistema de Comunicaciones dispone de 2 Routers, cada uno de ellos tiene un enlace a una LAN, y un enlace X.25 a 2 Mbps. Estos Routers permiten a la red de datos poseer las características siguientes: Sencillez (todos los enlaces siguen el mismo criterio), Fiabilidad (todos los enlaces están duplicados), y Economía (solo se utilizan equipos especiales donde es recomendable).
- 4 Canales de datos a 9.6 Kbps cada uno, que tienen la capacidad para la transmisión/recepción de comandos de control, y la recepción de alarmas de los datos radar entre Centros de Control.
- Canales de Voz, con velocidades de 8 Kbps, con marcación por tonos y pulsos para la comunicación telefónica entre Centros de Control.
- Características del enlace: una tasa nominal de error (BER) mejor que el  $10^{-7}$  el 99% del año (según servicio), con cielo claro, BER  $10^{-10}$ . Retardo de la señal inferior a los 500 Milisegundos. Capacidad de conexión a redes terrestres (X.25).

#### **5.4 Sistema de Comunicación Satelital como propuesta de solución**

Hoy en día las comunicaciones están a la orden de la tecnología, por lo que nos ofrecen muchas ventajas para comunicarnos con uno o más usuarios. Dentro de los sistemas de comunicación más utilizados para la transmisión de datos entre usuarios, tenemos: Comunicación por Radiomicroondas (Enlaces de Microondas), Comunicación por Fibra Óptica, Comunicación por Satélite, entre otros. Estos sistemas brindan los mismos servicios para realizar una comunicación óptima.

En caso de utilizar el Sistema de Comunicación por Fibra Óptica como un sistema de comunicación alternativo, sería necesaria la colocación de un tendido de fibra óptica con protección adecuada para evitar la ruptura de la misma. También requeriría incluir repetidores de señal cada cierto tramo desde el Centro de Control Aurora hacia el Centro de Control Tikal. Esta es la razón principal por lo que este sistema de comunicación no es el adecuado, ya que su implementación resultaría demasiado costosa, así como su mantenimiento.

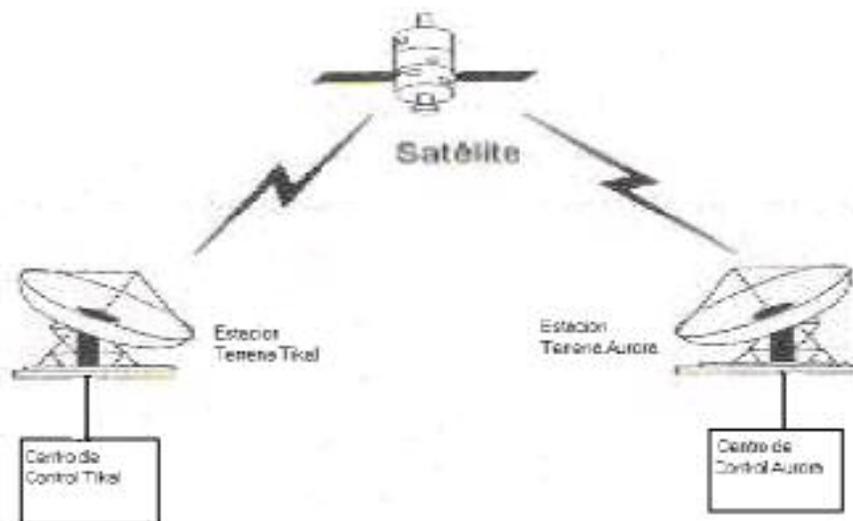
En el caso del sistema de comunicación satelital, es necesario contratar un operador de servicio de comunicación satelital que brinde este servicio en la región. Dicho operador será el encargado de instalar una estación terrena para cada Centro de Control, y utilizar un satélite como repetidor de comunicación.

Debido al menor precio de los componentes electrónicos, los costos de mantenimiento de las estaciones terrenas son considerablemente menores. Por lo tanto, el sistema de comunicación que funcionaría adecuadamente como sistema alternativo para la comunicación de los radares entre los Centros de Control, es el sistema de comunicación satelital por las ventajas que se tienen para su implementación.

Este enlace funcionaria de la siguiente forma: Durante la transmisión, el enlace irá desde la estación terrena transmisora Tikal hacia el receptor del transpondedor del satélite, realizando un enlace de subida (Uplink). Así mismo el transmisor del transpondedor del satélite, realizará el enlace de bajada (Downlink) hacia la estación terrena receptora Aurora.

Es importante mencionar, que esta comunicación puede ser bidireccional. Es decir, que la estación terrena Aurora seria la estación transmisora y a su vez, la estación terrena Tikal seria la estación receptora. La figura 16, muestra como estaría formado el enlace satelital:

**Figura 16. Interconexión del Sistema de Radar por Enlace Satelital**



## 5.5 Requerimientos para la Comunicación con el Satélite

Para realizar el enlace necesario de comunicación por satélite, las estaciones terrenas deberán utilizar satélites que presten cobertura sobre la región geográfica en que se encuentra ubicada Guatemala. Para examinar los posibles sitios adecuados para la ubicación de la estación terrena, es necesario contar con mapas donde se pueden identificar con facilidad las posibles interferencias radioeléctricas que puedan ser causadas por estaciones de radio y enlaces de microondas existentes. El sitio mas adecuado para ubicar la estación terrena es donde esta instalado el Centro de Control, debido a que estos poseen lo siguiente: Instalaciones adecuadas, Sistema de Aires Acondicionados, Sistema de UPS, Sistema de Energía, Sistema de Tierras Físicas, y por lo tanto se puede realizar una interconexión por medio de fibra óptica entre la Estación Terrena y el Centro de Control.

**Tabla VII. Coordenadas de ubicación de los Centros de Control**

<b>AEROPUERTO</b>	<b>LA AURORA</b>	<b>TIKAL</b>
LONGITUD	14°34'58"	16°49'51"
LATITUD	90°31'40"	89°51'59"
DECLINACIÓN MAGNETICA	3° 09'	2° 10'
ALTITUD	4952 Pies	386 Pies

La información de los radares que deseamos interconectar a través del enlace de comunicación por satélite, proporcionara todo lo relacionado a los comandos de control manejados remotamente y datos radar. Estos datos especificaran la información de las aeronaves en cuanto a código, posición, altura y velocidad. Así como el funcionamiento del Sistema de Radar (alarmas y estado del radar) y la información de los datos no-radar (Sistema de UPS, Sistema de Energía, Sistema de Grupos Electrógenos, Sistema de Aires Acondicionados, Sistema Contra Incendios/Intrusos).

Todo enlace de comunicación posee un ancho de banda, el cual depende de la cantidad de información que se desea transmitir o recibir. El ancho de banda que se requiere para este enlace de comunicaciones es:

**Tabla VIII Ancho de Banda del Enlace de Comunicaciones por Microondas**

<b>Capacidad de Canal</b>	<b>Asignación de Canal</b>
1 X 34368 Kbps más 2 X 2048 Kbps	28.0 MHz

### **5.6 Operadores de Satélites que brindan los Servicios de Comunicación**

Hace ya 53 años cuando Clarke ideó el empleo de la órbita geostacionaria con fines de radiocomunicaciones, era impensable que dicha tecnología superara todas las expectativas. En la actualidad el cinturón de Clarke esta ocupado con alrededor de 260 satélites activos y su número se va incrementando continuamente con nuevos lanzamientos.

Los operadores de satélites son los encargados de proveer los servicios de comunicación por satélite, a través de su departamento de Ingeniería de Sistemas Satelitales realizan estudios de factibilidad y funcionabilidad para proyectos de comunicación. Así como también brindan soporte técnico al cliente en la implementación de redes, cálculos de enlace y suministro de equipos. Algunos ejemplos de estos operadores de satélites se muestran en el anexo “A”.

La información que se debe conocer de los satélites que proporcionan estos operadores, es: Posición orbital, Bandas de frecuencias de Uplink y Downlink, Ancho de Banda por transpondedor, PIRE, SFD, G/T, ATP, IPBO, OPBO. Para las estaciones terrenas son: Posición Geográfica (Latitud y Longitud), Tipo y Diámetro de Antena (VSAT, USAT), HPA, Ganancia de la antena Transmisora, Ganancia de la antena Receptora, Temperatura de ruido del sistema (LNB y LNA).

Toda la información que se transmite en un enlace satelital, pasa a través de un MODEM, por lo que debemos conocer algunos parámetros de la señal, como lo son: Tipo de modulación de la señal, Velocidad de la señal, FEC, BER, Eb/No.

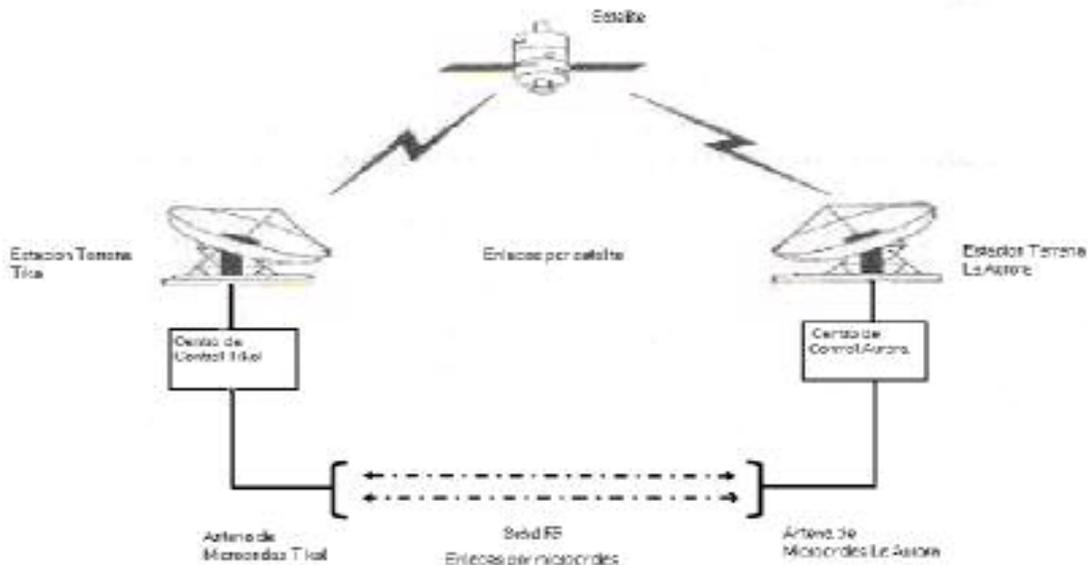
Los principales operadores de satélites que ofrecen los servicios de comunicación por satélite, son: EUTELSAT, INTELSAT, ASTRA, NAHUELSAT, FRANCE TELECOM, INTERSPUTNIK, NASDA, ASIASAT, PANAMSAT, INSAT, entre otros. (Ver anexo A). Sin embargo, por su cobertura en nuestra región los más recomendables son INTELSAT, NAHUELSAT, PANAMASAT.

### **5.7 Propuesta del Operador de Satélite para realizar la Interconexión del Sistema de Comunicación Alternativo**

Como se ha mencionado anteriormente, es necesario contar con un sistema de comunicación alternativo que actúe como respaldo en caso que, por alguna razón fallara el sistema de comunicación por enlaces de microonda. Previniendo de esta forma que la comunicación entre los Centros de Control se pierda. Debido a esto es importante contar con un sistema de comunicación satelital como sistema alternativo.

El sistema por microondas funciona adecuadamente siempre y cuando no se presenten las fallas mencionadas anteriormente, y es para esos momentos en específico, cuando se requiere la intervención del sistema satelital. Por lo tanto el servicio requerido del sistema satelital para esta interconexión sería bajo demanda, ya que actuaría durante el intervalo de tiempo en que la comunicación del sistema por microondas es reestablecida. A esto se debe de que el servicio prestado por el operador satelital resulte más económico que si se tuviera un servicio de comunicación permanente. La figura 17 muestra como estaría formada la Interconexión de los Radares a través del Sistema de Comunicación por Microondas y el Sistema de Comunicación Satelital.

**Figura 17. Interconexión de los Centros de Control**



NAHUELSAT es el operador de satélite que más se adecua para el tipo de comunicación que se requiere. No solo porque tiene cobertura en la región donde están ubicados los Centros de Control, sino porque posee las características principales que se requieren, entre ellas encontramos:

- Ofrece los servicios en banda Ku, que transmite a frecuencias mas altas (14/12 GHz) que la banda C (6/4 GHz). Al utilizar la banda Ku nos permite varias ventajas que podemos aprovechar, como lo son: los costos de implementación de los sistemas terrestres transmisores y receptores, el menor tamaño de las antenas transmisoras y receptoras (alrededor de 2 metros de diámetro para transmisión de datos), los trasmisores requieren de menor potencia de transmisión, y debido al menor precio de los componentes electrónicos, los costos de mantenimiento de las estaciones terrenas (V-SAT), son considerablemente menores.

- Las formaciones de lluvia se producen solamente en la atmósfera (de solo algunos Kms de altura), pero este satélite geoestacionario esta ubicado en la orbita a 35786 Km de la superficie terrestre, por lo que solo una pequeña parte del camino de la señal es afectada y en terrenos elevados este efecto disminuye sensiblemente.
- El nivel de atenuación por lluvia depende de la intensidad de lluvia (en términos de mm. de acumulación por hora). A mayor elevación, menor atenuación de señal (desde Guatemala, el Nahuel esta a  $62.38^\circ$  de elevación). El diseño correcto del enlace satelital permitirá utilizar el efecto de la lluvia tanto como se quiera.
- Nahuel ofrece muchos servicios, entre los cuales podemos encontrar: Conexión a redes terrestres (X.25), Redes de media capacidad, Conexión a centrales privadas digitales, Enlaces de orden Nx64 - 2 Mbps – 8 Mbps, Circuitos permanentes o bajo demanda.

## CONCLUSIONES

1. El sistema de comunicación por enlaces de microondas que actualmente realiza la interconexión de los Radares Aurora y Tikal, ha traído muchas ventajas para la navegación aérea en Guatemala, permitiendo tener una mayor cobertura de la región y seguridad para las aeronaves.
2. Las deficiencias que presenta el enlace de comunicación por microondas, son las causantes de la ruptura de la interconexión de los Radares Aurora y Tikal.
3. Los radares instalados en ambos aeropuertos pueden funcionar de forma independiente, sin embargo, para ampliar la cobertura de la región es necesaria su interconexión.
4. Es importante que Guatemala esté preparada para afrontar los retos de la globalización. Esto implica contar con tecnología de punta, que permita mayor confiabilidad en la navegación aérea, cumpliendo así, con un requisito fundamental para la certificación de sus aeropuertos.



## **RECOMENDACIONES**

1. Es de suma importancia corregir las deficiencias que se presentan en la interconexión de los Radares Aurora y Tikal, ya que esto permite ofrecer mayor seguridad y cobertura a las aeronaves que circulan en la región.
2. Se sugiere contar con un sistema de comunicación alternativo, que funcionaría como respaldo con disponibilidad para entrar en operación en el instante de ruptura del enlace propio.
3. Después de evaluar los diversos sistemas de comunicación, se sugiere al sistema satelital, como el más adecuado para funcionar como sistema alternativo. Esto es debido a que dicho sistema permite una solución factible y aplicable sin mayores dificultades para esta interconexión, ya que cuenta con diferentes aplicaciones, implementación y ventajas para realizar la comunicación cuando el enlace por microondas estuviera fuera del aire. Permitiendo que su costo de operación sea más económico, que si estuviera como un sistema de comunicación permanente.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Tomasi Wayne. **Sistema de Comunicaciones Electrónicas**.  
2a. Edición. México.  
Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1996.
2. Ha, Tri T. **Digital Satellite Communications**.  
2a. Edición. Singapur.  
Editorial McGraw Hill, 1986.
3. Harris. **Quadralink Digital Radio, Instruction Manual**.  
Part Number. IMN-900100-E04  
HARRIS CORPORATION. Canadá. 1999.
4. Nahuelsat. Folleto. **Satélites de Comunicación**.  
México 2001.
5. Indra. **Sistema de Radar Secundario Monopulso**.  
Manual Part Number. MAN1004250101  
2a. Edición. Madrid, España. 1998.
6. Raytheon. **Sistema de Radar Primario ASR-10SS**.  
Manual de Mantenimiento.  
Canada. 1998.
7. Indra. **Procedimiento de Mantenimiento Sistema de Radar Secundario Monopulso**.  
Manual Part Number. A1DMC75NOR03  
Madrid España. 2000.
8. Indra. **Sistema de Comunicaciones Radar. SCR/R, SCR/L**.  
Estudios y Proyectos de Telecomunicación, S.A. EyP Telecomunicación.  
Edición AA. Madrid España. 1998.
9. OACI. **Manual Sistema del Radar Secundario de Vigilancia (SSR)**  
Doc. 9684, AN/951  
3a. Edición. Montreal, Québec Canadá. 2004



## **ANEXO “A” OPERADORES DE SATELITES**

**EUTELSAT** Organización Europea de Satélites de Telecomunicaciones, está formada por 39 estados miembros y esto la hace la más grande en Europa. Controla ocho satélites de comunicación, que son utilizados en el continente europeo para la transmisión de datos, teléfono, radio y televisión.

**INTELSAT** Organización Internacional de Satélites de Telecomunicaciones. Con el fin de brindar cobertura a una audiencia mayor a los mil millones de personas, que observarían el aterrizaje del primer hombre en la luna, estableció el primer sistema de comunicaciones global con satélites. Desde 1973, la estructura organizativa de Intelsat comprende: la asamblea de partes, la reunión de signatarios, la junta de gobernadores y el órgano ejecutivo. El sistema global de Intelsat actualmente lo comprenden 20 satélites.

**FRANCE TELECOM** Es la Red Nacional Francesa de Satélites, utilizada para propósitos de transmisión de datos, telecomunicaciones y para fines militares. Fue diseñada para cubrir Francia y gran parte de Europa con sus transpondedores de Banda Ku y los territorios Franceses de ultramar con sus transpondedores de Banda C. La antena militar de Banda X dirigida a Europa Central, puede ser controlada por comandos transmitidos desde tierra para suministrar cobertura a cualquier lugar dentro del alcance del satélite.

**NAHUELSAT** Es la operadora del Sistema Satelital Argentino Nahuel. Fundada con el objetivo de implementar y explotar, en forma totalmente privada, un sistema satelital para telecomunicaciones. Utilizando para este fin, las posiciones orbitales asignadas a la República Argentina. Debido a los convenios y acuerdos internacionales, Nahuelsat puede acceder, a través de sus satélites, a la mayoría de países en las Américas, incluyendo los EEUU. y Canadá.

En 1998, la Comisión Nacional de Comunicaciones adjudicó a Nahuelsat S.A. la posición orbital de 81° Oeste, con plena cobertura y acceso en Sur, Centro y Norteamérica en las bandas de frecuencia C y Ku. La banda Ku permite la utilización de estaciones terrenas más eficientes y económicas.

**ASTRA** Sociedad Europea de Satélites (SES), es una organización privada que opera los cuatro satélites Astra en 19.2° Este. Creada con la intención de cumplir con las necesidades de los televidentes europeos y programadores de satélites de televisión. SES opera el sistema de satélites ASTRA bajo un acuerdo de franquicia con el gran ducado de Luxemburgo.

**INTERSPUTNIK** Es una Organización Internacional de Satélites, que fue fundada por la antigua URSS y algunos países aliados a finales de 1971. Hoy en día 16 naciones forman parte de esta organización.

**NASDA** Agencia de Japón para el Desarrollo Espacial Nacional, fue fundada con el fin de realizar exploraciones espaciales en interés de la paz. Además de otras tareas relacionadas con el espacio, NASDA opera un gran número de satélites tales como los de la serie Yuri (BS-2A/B). La Corporación de Transmisiones de Japón (NHK) y Transmisiones de Satélite de Japón (JSB) dirigen servicios de transmisión en los satélites de órbita geoestacionaria que es controlada por la Corporación de Satélites de Telecomunicaciones de Japón.

**PANAMSAT** Alpha Lyacom es un consorcio internacional de satélites comerciales, que opera bajo el nombre de Satélite Pan American. El órgano administrativo para las telecomunicaciones garantizó a Panamsat todos los derechos para lanzar y explotar un sistema de satélite internacional independiente. Esto hizo a Panamsat el primer operador de satélite internacional privado del mundo y un competidor directo de Intelsat. La meta principal de Panamsat fue ofrecer comunicaciones vía satélite de un modo más económico, en los Estados Unidos, América Latina y Europa. Las áreas de banda C son la parte Norte, Central y Sur de América Latina, el área de Banda Ku hace referencia a Europa.

**INSAT** El Sistema de Satélite Nacional Indio, es un sistema de satélites de comunicaciones multipropósito usado por múltiples agencias gubernamentales Indias. Utilizado para la transmisión de datos meteorológicos, hidrológicos y oceanográficos desde estaciones remotas no tripuladas y desde plataformas de recepción y transmisión de datos basados en el océano. La serie de satélites Insat 1 y la última, Insat 2, están diseñadas y construidas en India, por la Organización de Investigación Espacial India.