

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación



**TRANSMISION VHF BANDA III DEL CANAL INTERNACIONAL
ECUATORIANO EN LA ISLA SAN CRISTÓBAL DE LAS ISLAS
GALAPAGOS**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del título de :

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD
ESPECIALIZACIÓN ELECTRONICA**

Presentada por:

**JUAN CARLOS PONCE VALVERDE
JUAN CARLOS PERERO GONZALEZ
JUAN FERNANDO BASILIO GOMEZ**

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO

2003

AGRADECIMIENTO

Al ING ALEJANDRO AGUILAR
director de Tesis. Quien con su
valiosa experiencia nos ayudo en
la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

AL CREADOR DEL UNIVERSO, A
MIS PADRES, QUE CON
ESFUERZO Y SACRIFICIO ME
DIERON LA FORMACION QUE
HOY TENGO. A MIS
HERMANOS, Y A TODAS LAS
PERSONAS QUE SUPIERON
AYUDARME EN EL MOMENTO
PRECISO

JUAN PONCE VALVERDE.

DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO,
A LAS PERSONAS QUE MAS
QUIERO Y APRECIO EN ESTE
MUNDO: MIS PADRES
A MI HERMANO EDDY

JUAN PERERO GONZALEZ

DEDICATORIA

A DIOS

A MI FAMILIA Y

A MIS AMIGOS

FERNANDO BASILIO GOMEZ

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Carlos Monsalve A

Decano de la FIEC

Ing. Alejandro Aguilar

Director de tesis

Ing. Pedro Vargas

Miembro principal

Ing. Washington Medina

Miembro principal

DECLARACION EXPRESA

“ La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Juan Carlos Ponce Valverde

Fernando Basilio Gomez

Juan Perero González

RESUMEN

El objetivo principal de nuestro proyecto es transmitir señales de canales locales de televisión hacia la provincia de Galápagos, siendo Puerto Baquerizo Moreno ubicado en la Isla San Cristóbal lugar donde se concentrara el estudio para la realización de nuestro proyecto, debido a que existe un déficit muy grande de Televisión Ecuatoriana en dicho territorio, con lo cual permitiremos a la mayoría de la población acceder a la programación que nos brinda los canales actualmente.

Este sistema es totalmente nuevo, para lo cual hemos adoptado equipamiento de última tecnología, acogiéndonos a las recomendaciones de los principales organismos regulatorios para garantizar el óptimo funcionamiento de nuestro sistema.

Es importante decir que el medio de transporte de las señales es satelital, para lo cual utilizaremos el INTELSAT VIII - A 805.

El estudio de nuestro proyecto lo hemos realizado de forma secuencial en 8 Capítulos.

En el Capitulo I describimos la Situación Política - Geográfica de la Isla San Cristóbal, Estadísticas Poblacionales y a su vez las Condiciones Climatológicas de la Isla Galápagos y en especial a la Isla San Cristóbal lugar donde se centra nuestro estudio.

En el Capitulo II detallamos los principios básicos de la Televisión Analógica, estándares que actualmente se utilizan a nivel internacional y las condiciones mínimas que debe tener el nivel de la señal de televisión según la FCC.

En el Capitulo III se ofrece los detalles principales de la Televisión Digital, como son los diferentes pasos durante el procesamiento de señales de vídeo y audio, además detallamos los formatos de compresión, como son el MPEG-2, DVB, diferencias entre en estos dos estándares de compresión y las diferencias entre Televisión Analógica y Televisión Digital. Así como las condiciones mínimas que permiten obtener la señal de televisión digital de acuerdo a la normativa DVB – S.

En el Capitulo IV tratamos los conceptos básicos de Radiopropagacion, se explica todos los puntos vitales para realizar nuestro estudio de propagación en Puerto Baquerizo Moren - Isla San Cristóbal.

En el Capitulo V detallamos los fundamentos básicos de las antenas, características principales de las líneas de transmisión coaxiales y su elección, luego describimos acerca de las torres para la instalación de las antenas, tipos, características e implementación.

En el Capitulo VI se hace un estudio de las Comunicaciones Satelitales, el cual relata conceptos básicos y los parámetros del satélite ITELSTAT 805 necesarios para desarrollo del diseño de la estación terrena.

En el Capitulo VII realizamos el Estudio del Proyecto, para lo cual lo hemos implementado en dos partes, la primera parte comprende la Etapa de Recepción Satelital, el cual incluye todos los cálculos satelitales para el diseño de la Estación Terrena, la segunda parte es el Estudio de Transmisión Terrestre, en esta parte se realiza los calculo de propagación y análisis de cobertura para las señales VHF en Puerto Baquerizo Moreno - Isla San Cristóbal. Además se desarrollan los Sistemas Eléctrico, Enfriamiento y Protecciones Electricas para la Estación Terrena y terminamos con el Alcance Económico y el tiempo estimado de ejecución del Proyecto. Todo esto con el objetivo de tener bases sólidas para una futura implementacion del mismo.

El capítulo VIII describe de una forma detallada las Características Técnicas de los Equipos Seleccionados, así mismo mostramos fotos de cada uno de ellos con el objetivo de tener una idea clara del equipo del cual estamos hablando, también detallamos los cable coaxiales a utilizarse, guía de onda, conectores etc.

Finalmente realizamos las conclusiones, en donde damos a conocer el resumen de los resultados obtenidos en nuestro diseño. Y también proporcionamos las recomendaciones respectivas que permitan obtener el máximo rendimiento de nuestro proyecto.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	VIII
INDICE GENERAL	XI
INDICE DE FIGURAS	XXIV
INDICE DE TABLAS	XXIX
INTRODUCCION	XXXI

I. PROVINCIA DE GALAPAGOS

1.1 División Política	
1.2 Estadísticas Poblacional de la Isla San Cristóbal	
1.3 Condiciones Climatologicas y Metereologicas	
1.3.1 Temperatura Aire	
1.3.2 Humedad Relativa	
1.3.3 Precipitación Atmosférica.....	
1.3.4 Heliofania	
1.3.5 Evaporación	
1.4 Resumen Climatológico y Gráficos	

II. TELEVISIÓN ANALÓGICA

2.1	Introducción	
2.2	Breve Historia	
2.3	La Televisión como sistema	
2.4	Canales de Difusión de Televisión	
2.4.1	Canales Asignados	
2.4.2	Grados de Servicio de una estación de televisión.....	
2.5	Transmisor de televisión	
2.5.1	Ubicación del Transmisor.....	
2.5.2	Ubicación de las Antenas.....	
2.5.2.1	Altura efectiva de la antena	
2.5.2.2	Estaciones Repetidoras	
2.6	Canal Estándar Normalizado	
2.7	Transmisión en Banda Lateral Vestigial	
2.8	La imagen de Televisión	
2.8.1	Elementos de Imagen	
2.8.2	Propiedades de la Imagen.....	
2.8.2.1	Brillo (Luminosidad)	
2.8.2.2	Contraste	
2.8.2.3	Detalle	
2.8.2.4	Nivel de Color.....	
2.8.2.5	Matriz.....	
2.8.2.6	Relación de Aspecto	

2.8.2.7	Distancia de Visión	
2.9	Exploración y Sincronismo	
2.9.1	Líneas por Cuadros	
2.9.2	Cuadros por Segundo	
2.9.3	Frecuencias de Cuadro y de Campo.....	
2.9.4	Frecuencias de Barrido Horizontal y Vertical.....	
2.10	La señal de Video Compuesto	
2.10.1	Pulsos de Sincronización Horizontal y Vertical	
2.10.2	Pulsos de Barrido Horizontal y Vertical.....	
2.11	Transmisión de Televisión a Color	
2.11.1	Codificación de Color.....	
2.11.2	Señal de Luminancia.....	
2.11.3	Señal de Crominancia.....	
2.11.4	Ráfaga de Color (Color Burst).....	
2.11.5	Frecuencias de Exploración para la Transmisión a color.....	
2.11.6	Intercalación de Frecuencias.....	
2.12	Sistema de Televisión a Color	
2.12.1	NTSC (National Television System Committee)	
2.12.2	PAL (Phase Alternation by Line).....	
2.12.3	SECAM (Sequential Colour Avec Memoire).....	

III. TELEVISIÓN DIGITAL

3.1	Introducción	
3.2	¿Cómo se crea la TV Digital?	
3.2.1	Digitalización	

3.2.1.1	El Muestreo
3.2.2	Codificación.....
3.2.3	La Codificación de Señales Compuestas.....
3.2.4	La Codificación de las Componentes.....
3.2.5	La Norma 4:2:2.....
3.3	Estándar DVB
3.3.1	¿Qué es el DVB?.....
3.3.2	Estándares DVB.....
3.3.3	¿Porque DVB eligió MPEG-2 como estándar?.....
3.3.4	La Compresión MPEG-2.....
3.3.4.1	Perfiles y Niveles MPEG-2
3.3.4.2	Modos de Preedición Específicos en MPEG-2.
3.3.4.3	La Estructura Frame
3.3.4.4	La Estructura Field.....
3.3.4.5	Scannig (Exploración).....
3.3.4.6	Descripción Proceso Codificación MPEG-2
3.3.4.7	Descripción Proceso Descodificación MPEG-2..
3.4	TV Digital vía Satélite
3.4.1	La información del servicio (SI).....
3.4.2	La EPG (Electronic Program Guide).....
3.4.3	El Proceso del TS (Flujo de Transporte).....
3.4.4	La Capacidad de los Satélites.....
3.4.5	Sistemas de Acceso Condicional (CA).....

3.4.5.1 Multicrypt.....	
3.4.5.2 Simulcrypt	
3.4.6 El IRD.....	
3.5 Aplicaciones Interactivas den TV Digital	
3.6 TV Analógica vs Tv Digital	
3.7 Características de la Transmisión de Televisión Digital de la Red Abierta	
3.7.1 Ancho de banda para Tv Digital.....	
3.7.1.1 Velocidad de Transmisión de información Máxima en un tramo de Ancho de Banda	
3.7.1.2 Tramo de Ancho de Banda Necesario.....	
3.7.1.3 Tasa de Errores en los Bitios del Modem/Codem.....	
3.7.1.4 Calidad del Servicio	
3.7.2 Banda Base.....	
3.7.2.1 Codificación de Video	
3.7.2.2 Codificación de Audio	
3.7.2.3 Información sobre Programas (PSI) y Servicios.....	
3.7.3 Requisitos de desempeño adicionales aplicables a las Estaciones Terrenas utilizadas para Televisión Digital.....	

3.7.3.1	PIRE
3.7.3.2	Restricciones en materia de emisión, densidad de emisión fuera del eje
3.7.3.3	Emisiones Parásitas cuando no Están activadas la Portadora.....
3.7.3.4	Emisiones Parásitas cuando esta activada La Portadora
3.7.3.5	Emisiones Parásitas (Productos de Inter.-Modulación).....
3.7.3.6	Emisión Fuera de banda RF (Lóbulos Laterales Espectrales de la Portadora).....
3.7.4	Tolerancia de la Frecuencia.....
3.7.4.1	Tolerancia de la Frecuencia RF de la Portadora.....
3.7.4.2	Inversión del Espectro
3.7.5	Planificación de Frecuencias.....
3.7.6	Ruido Fase.....
3.7.6.1	Estación Terrena (Transmisión)
3.7.6.2	Estación Terrena (Recepción)

IV. PRICIPIOS DE RADIOPROPAGACION

4.1	Introducción
4.2	Propagación de ondas Electromagnéticas en el espacio libre
4.2.1	Perdidas Elementales
4.2.2	Potencia Recibida

4.2.3	Absorción	
4.3	Propagación de Ondas de tierra	
4.4	Propagación de Ondas Ionosféricas	
4.4.1	Frecuencia Critica y Angulo Critico	
4.4.2	Altura Aparente	
4.4.3	Frecuencia Máxima Utilizable.....	
4.4.4	Distancia de salto	
4.5	Propagación de Ondas en Línea de Vista	
4.5.1	Refracción Atmosférica.....	
4.5.2	La Difracción y las Zonas de Fresnel	
4.5.2.1	Claridad Requerida en la radio trayectoria	
4.5.3	Reflexiones de Tierra.....	
4.6	Los Efectos de la lluvia, la nieve y la niebla.....	
4.6.1	Perdidas de Trayectoria sin Línea de Vista.....	
4.6.2	Perdidas de Difracción.....	
4.6.3	Atenuación por Vegetación	
4.6.4	Otras Perdidas	
4.7	Margen de Error	
4.8	Calculo de Margen de Desvanecimiento	
4.8.1	Nivel de Portadora Receptada	
4.8.2	Umbral de Recepción	
4.8.3	Confiabilidad del Sistema	
4.9	Representación de los Perfiles Topográficos	

V. FUNDAMENTOS DE ANTENAS

5.1	Introducción	
5.2	Términos y Definiciones	
5.2.1	Patrón de Radiación	
5.2.2	Campos Lejanos y Cercanos	
5.2.3	Resistencia de Radiación y Eficiencia de la Antena	
5.2.4	Polarización de Antena.....	
5.3	Ancho de Haz de una Antena	
5.4	Ancho de Banda de una Antena	
5.5	Impedancia de Entrada	
5.6	Monopolos y Dipolos	
5.7	Carga de la Antena.....	
5.7.1	Bobinas de Carga	
5.7.2	Carga Superior.....	
5.8	Ondas Estacionarias	
5.9	Arreglo de Antenas	
5.9.1	Arreglo de Elementos Lineales.....	
5.9.2	Antenas de arreglo de fase.....	
5.10	Antenas de Propósito Especial	
5.10.1	Dipolo Plegado	
5.10.2	Antenas Yagi-Uda.....	
5.10.3	Antena Logarítmica Periódica	
5.11	Líneas de Transmisión	

5.11.1	Tipos de Líneas de Transmisión	
5.11.2	Líneas de Transmisión Coaxial o Concéntricos	
5.11.2.1	Parámetros Característicos	
5.11.2.2	Características Constructivas	
5.11.2.3	Elección del Cable Coaxial	
5.11.2.4	Normas de Aplicación	
5.11.2.5	Algunos cables típicos	
5.12	Torres para instalación de antenas	
5.12.1	Torres Vientos o Arriostras	
5.12.2	Torres Autosoportadas	
5.12.3	Implementación de una Torre.....	
5.12.3.1	Estructura Principal Tubular Triangular	
5.12.3.2	Escaleras de ascenso y descenso	
5.12.3.3	Cama de Guías de Ondas Vertical	
5.12.3.4	Plataforma de Trabajo	
5.12.3.5	Sistema de Protección contra descargas atmosféricas típicos	
5.12.3.6	Sistemas de Iluminación o Baliza	
5.12.3.7	Pintura o Balizamiento Diurno	
5.12.3.8	Aterrizaje de la Torre	
5.12.4	Cimentación	

VI. PRINCIPIOS DE LAS COMUNICACIONES SATELITALES

6.1	Introducción
6.2	Satélites Geoestacionarios
6.3	Tipos de Orbitas Satelitales
6.4	Frecuencias de Operación de un Satélite.....
6.5	Beam Footprint.....
6.6	Transponder.....
6.6.1	Transponder 6/4 Ghz.....
6.6.2	Transponder 14/11 Ghz
6.7	Diseño de un Sistema Satelital
6.7.1	Relación Portadora Ruido.....
6.7.2	Ecuación del Enlace
6.7.3	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
6.7.4	Perdidas de Transmisión
6.7.5	Perdidas en el Espacio Libre
6.7.6	Perdidas Atmosféricas.....
6.7.6.1	Efecto de la Lluvia
6.7.6.2	Perdidas de Seguimiento
6.7.7	Ventaja del Diagrama de Radiación (Pattern Advantage)

6.7.8	Temperatura Ruido del Sistema.....	
6.7.9	Temperatura Ruido de las Antenas	
6.7.10	Factor de Calidad G/T	
6.7.11	Relación Portadora Ruido C/N (logaritmo).....	
6.7.12	Impacto de la G/T en la Rentabilidad del Servicio	
6.7.13	Punto de Funcionamiento del Transponder	
6.7.14	Ruido Térmico en el Enlace Ascendente	
6.7.15	Productos de Intermodulacion de los HPA de las Estaciones Terrenas.....	
6.7.16	Interferencia Cocanal	
6.7.17	Intermodulacion del Transponder.....	
6.7.18	Ruido Térmico en Enlace Descendente	
6.7.19	Polarización	
6.7.20	Relación Portadora a Temperatura de Ruido del Sistema para todo el Enlace	
6.8	Estaciones Terrenas.....	
6.9	Antenas Terrestres.....	
6.9.1	Arquitectura de Antenas	
6.9.2	Tipos de Antenas.....	
6.9.2.1	Foco primario	
6.9.2.2	Gregoriana	

6.9.2.3 Cassgrain	
6.9.3 Parámetros de Diseño de Antena	
6.9.3.1 Ganancia	
6.9.3.2 Ancho del Haz	
6.9.3.3 Lóbulos Laterales	
6.9.3.4 Ancho de Banda.....	
6.9.4 Montaje de Antenas.....	
6.9.4.1 Montaje X-Y	
6.9.4.2 Montaje AZ/EL	
6.9.4.3 Montaje Polar	
6.9.5 Estándares de Antenas	
6.9.5.1 Estándar A	
6.9.5.2 Estándar B	
6.9.5.3 Estándar C	
6.9.5.4 Estándar D	
6.9.5.5 Estándar F.....	
6.9.5.6 Estándar G	
6.9.5.7 Estándar H	
6.9.5.8 Estándar K	
6.10 Distancia al Satélite	
6.11 Angulo de Elevación	
6.12 Angulo de Azimuth	
6.13 Amplificadores de Potencia	
6.14 Clases de Amplificadores de Potencia.....	

6.14.1	Amplificadores de Potencia Klyston
6.14.2	Amplificadores TWTA
6.14.3	Amplificadores SSPA.....
6.15	Amplificadores de Bajo Ruido LNA
6.16	Combinadores de Frecuencia
6.17	Up-Converter
6.18	Down Converter

VII. ESTUDIO DEL PROYECTO

7.1	Objetivo del Proyecto
7.1.1	Organización del Proyecto.....
7.2	Selección del sistema para Estación de Recepción Satelital y Trasmisión Terrestre.....
7.3	Análisis Técnico
7.3.1	Primera Parte: Diseño de la Estación Receptora Satelital
7.3.1.1	Calculo del Apuntamiento de la Antena Receptora Satelital hacia el satélite 805
7.3.1.2	Calculo de la Distancia entre Estación Terrena Y el Satélite
7.3.1.3	Calculo de las Perdidas por Espacio Libre...
7.3.1.3	Selección de la Antena Receptora y del LNB Calculo del Enlace Satelital
7.3.2	Segunda Parte: Estudio de Transmisión Terrestres ..

7.3.2.1	Selección del Transmisor
7.3.2.2	Selección del Sistema Radiante
7.4	Descripción Funcional del Sistema Diseñado
7.4.1	Listado de Equipos y Accesorios
7.4.2	Descripción de la Primera Parte: Recepción Satelital
7.4.3	Descripción de la Segunda Parte: Transmisión Terrestre en VHF
7.5	Diseño de los Sistemas de Protección, Refrigeración y Sistema Eléctrico para el Cuarto de Equipos
7.5.1	Calculo del Sistema de Protección UPS
7.5.2	Calculo del Sistema Acondicionador de Aire
7.5.3	Listado de los equipos de protección y acondicionador de Aire
7.5.4	Calculo Sistema Eléctrico
7.5.4.1	Consideraciones Generales.....
7.5.4.2	Calculo de la demanda de carga del Sistema ..
7.5.4.3	Calculo Breaker Principal.....
7.6	Ubicación de los equipos dentro del Cuarto de Comunicaciones: Elección del Rack
7.7	Especificaciones de la Obra Civil y la Puesta a Tierra
7.7.1	Obra Civil
7.7.2	Puesta a Tierra
7.7.3	Balizamiento

7.8	Especificaciones Técnicas del Proyecto Desarrollado
7.9	Alcance Económico del Proyecto
7.10	Tiempo de Ejecución del Proyecto

VIII. CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS

8.1	Satélite
	INTELSAL 805 @ 304.5 E
8.2	Antena Receptora Satelital
	3.8 M Marca PATRIOT
8.3	Amplificador de Bajo Ruido
	LNB Marca California
8.4	Splitter Satelital
	VDZ4 Marca Spaun USA
8.5	Integrated Receiver Decoder IRD
	NTC 2179 Nx Marca Newtec
8.6	Switch de Protección Redundancia
	NTC 2085 Marca Newtec
8.7	Module Video Switcher
	NTC 3410 CE Marca Newtec
8.8	Module Audio Switcher
	NTC 3410 DA Marca Newtec
8.9	Transmisor VHF
	10 Watts Marca Emcee
8.10	Sistema Radiante
	8.10.1 Antena Transmisión VHF

AT 13-223 Marca Rymosa	
8.10.2 Divisor Simétrica de Potencia	
DT 13-112 Marca Rymsa.....	
8.10.3 Cables Sistema Radiante	
LCF 12- 505 Marca Rymsa	
8.11 Conectores	
8.11.1 Conector F macho para RG-6	
8.11.2 Conector BNC macho para RG-59	
8.11.3 Conector XLR	
8.11.4 Conector RCA	
8.11.5 Adaptador F hembra a RCA macho.....	
8.11.6 Conector N macho	
8.11.7 Conector DIN 7/16	
8.11.8 Bloques aterrizaje cable coaxial.....	
8.12 Cables	
8.12.1 Cable RG-59 Catv	
8.12.2 Cable RG-6 Catv	
8.12.3 Cable Heliax ½ “	
8.13 UPS	

1000RT2U Marca Tripp-Lite	
8.14 Wave Form Monitor	
5222 NTSC/PALM/SECAM Marca Leader.....	
8.15 Rack	
Marca Unicom	
8.16 Aire Acondicionado	
14000BTU Marca Samsung	
8.17 Televisor 13"	
CT-13R17B Marca Panasonic	
8.18 Antena Recepción VHF	
Marca Winegard	
XI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN	357
APENDICES	360
BIBLIOGRAFÍA	363

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1	Provincia de Galápagos	
Figura 1.2	Evolución de la Población Urbana y Rural según Censos	
Figura 1.3	Distribución de Precipitaciones	
Figura 1.4	Distribución de temperatura	
Figura 2.1	La Televisión como sistema	
Figura 2.2	Estimaciones de la Intensidad de Campo a diferentes alturas y Potencias a)canal 2-6 14-83 b)canal 7-13.....	
Figura 2.3	Diagrama de Bloques simplificado para el Transmisor de Televisión Monocromático y el Receptor.....	
Figura 2.4	Canal de Radiodifusión de Televisión Estándar.....	
Figura 2.5	Efectos de números de elementos de imagen sobre la resolución.....	
Figura 2.6	Relación de aspecto y Resolución versus Ancha Banda.....	
Figura 2.7	Exploración Líneas Horizontal.....	
Figura 2.8	Procedimientos para Exploración de Líneas impares entrelazadas.....	
Figura 2.9	Muestra de Exploración para 21 Líneas entrelazadas	
Figura 2.10	Señal de Video Compuesto	
Figura 2.11	Pulsos de Sincronismo y Barrido Horizontal	
Figura 2.12	Pulsos de Sincronismo y Blanqueo Vertical y Horizontal.....	
Figura 2.13	Transmisión de Televisión a Color	
Figura 2.14	Valores de Luminancia Relativos para un Patrón de barras de Color.....	

Figura 2.15	Rueda de Color de Radiodifusión de Televisión Estándar.....
Figura 2.16	Intervalo de Blanqueo Horizontal, Ráfaga de 3.58 MHZ.....
Figura 2.17	Espectro de Frecuencias de RF compuesta para la Radiodifusión De Televisión a Color.....
Figura 2.18	Intercalación de Frecuencias de Señales de Color y Luminancia
Figura 3.1	Esquema Representativo de Comunicación Integra
Figura 3.2	Señal Analógica
Figura 3.3	Resultado de Muestreo señal PAM
Figura 3.4	Situación de Estudio Híbrido
Figura 3.5	Situación de un Estudio Digital Completo
Figura 3.6	Posible tratamiento de señal de TV durante la Transmisión.....
Figura 3.7	Configuración de un Estudio completamente digital
Figura 3.8	Señales de Luminancia y Crominancia
Figura 3.9	Muestreo Ortogonal
Figura 3.10	Distribución de las Muestras en los sistemas 625-50
Figura 3.11	Distribución de las Muestras en los sistemas 525-60
Figura 3.12	Niveles y Perfiles de MPEG-2
Figura 3.13	Cosificación Escalibre SNR
Figura 3.14	Codificación Espacial Escalibre.....
Figura 3.15	Jerarquía de Capas de la secuencia
Figura 3.16	Rebanadas (Slices) en MPEG-2.....
Figura 3.17	Posición de las Líneas de campos sucesivos en un Sistema Entrelazado

Figura 3.18	División de los Macrobloques en bloques en modo Imagen	
	Frame	
Figura 3.19	División de los Macrobloques en bloques en modo campo	
	Field.....	
Figura 3.20	Exploración clásica en Zig-Zag.....	
Figura 3.21	Exploración Alternada, normalmente para campos	
Figura 3.22	Esquema Simplificado del codificador MPEG-2.....	
Figura 3.23	Esquema Simplificado del decodificador MPEG-2.....	
Figura 3.24	Cadena de Transmisión de TV Digital por Satélite	
Figura 3.25	Esquema de Proceso de Transporte Stream	
Figura 3.26	Grafico Representativo Multicrypt y Simulcrypt.....	
Figura 3.27	Esquema de un IRD.....	
Figura 3.28	Frecuencias de Centro.....	
Figura 4.1	Modos de Propagación de Ondas	
Figura 4.2	Absorción Atmosférica de las Ondas Electromagnéticas	
Figura 4.3	Propagación de Ondas de Tierra	
Figura 4.4	Capas Ionosféricas	
Figura 4.5	Angulo Critico.....	
Figura 4.6	Altura Virtual y Real	
Figura 4.7	Distancia del Salto, Propagación de Dia contra Nocturna	
Figura 4.8	Propagación de Ondas en Líneas de Vista.....	
Figura 4.9	La refracción en una frontera.....	
Figura 4.10	Propagación en Ducto	
Figura 4.11	Radio de Horizonte	
Figura 4.12	Monograma que da la distancia Radio Horizonte	

Figura 4.13	Difracción de Ondas Electromagnéticas (Huygens).....
Figura 4.14	Zonas de Fresnel.....
Figura 4.15	Geometría de la Zona de Fresnel
Figura 4.16	Parámetros Típicos de la reflexión de la tierra.....
Figura 4.17	Interferencia entre los rayos directos y reflejado.....
Figura 4.18	Perdidas por difracción relativas al espacio libre
Figura 4.19	Perdidas de Transmisión versus Claridad.....
Figura 4.20	Parábola de Referencia
Figura 4.21	Representación de un Perfil
Figura 5.1	Patrón Radiación Absoluta
Figura 5.2	Ancho del haz
Figura 5.3	Bobinas de Carga
Figura 5.4	Caja de la Antena en forma superior.....
Figura 5.5	Desarrollo de una onda estacionaria de un línea De transmisión
Figura 5.6	Arreglo de antena
Figura 5.7	Sistemas Coordenadas Tridimensional.....
Figura 5.8	Arreglo de antena de fase
Figura 5.9	Dipolo Plegado.....
Figura 5.10	Antena Yagi-Uda.....
Figura 5.11	Antena Logarítmica Periódica.....
Figura 5.12.	Impedancia de entrada logarítmica periódica vs frecuencia
Figura 5.13	Líneas de Transmisión Concéntrica o Coaxial.....
Figura 5.14	Torre arriestra o de viento
Figura 5.15	Torres Autosoportadas

Figura 5.16	Estructura Tubular
Figura 5.17	Escalera de ascenso y descenso
Figura 5.18	Canaletas.....
Figura 5.19	Plataforma de Trabajo
Figura 5.20	Pararrayos
Figura 5.21	Iluminación.....
Figura 5.22	Pintura de Torre
Figura 5.23	Aterrizaje de una Torre
Figura 6.1	Orbita de un Satélite
Figura 6.2	Orbita Geoestacionarias e Inclinadas
Figura 6.3	Huellas de un Satélite.....
Figura 6.4	Diagrama Básico Transponder 6/4 GHz
Figura 6.5	Diagrama Básico Transponder 14/11 GHz
Figura 6.6	Diagrama de Bloques Estación Terrena
Figura 6.7	Antena Básica
Figura 6.8	Antena Foco Primario
Figura 6.9	Antena Gregoriana
Figura 6.10	Antena Cassegrain
Figura 6.11	Ancho de Banda y Diagrama de Radiación.....
Figura 6.12	Montaje de Antenas
Figura 6.13	Amplificador Klyston
Figura 6.14	Diagrama de Bloques de un Amplificador Klyston
Figura 6.15	Amplificador TWTA
Figura 6.16	Operación Típica de un SSPA de 3º orden

Figura 6.17	Etapas de la amplificación de un SSPA
Figura 6.18	Diagrama de Bloques de un LNA
Figura 6.19	Principios del Mezclador
Figura 6.20	Conversión Simple del UP-Converter.....
Figura 6.21	Conversion Simple del Down-Converter
Figura 6.22	Conversion Doble del UP-Converter
Figura 6.23	Conversion Doble del Down-Converter
Figura 7.1	Diagrama de bloques de un Sistema Receptor Satelital y Transmisión Terrestre
Figura 7.2	Huellas del Satélite 805
Figura 7.3	Radiales sobre la Zona de Cobertura.....
Figura 7.4	Perfiles Topográficos
Figura 7.5	Perfiles Topográficos
Figura 7.6	Perfiles Topográficos
Figura 7.7	Perfiles Topográficos
Figura 7.8	Perfiles Topográficos
Figura 7.8	Perfiles Topográficos
Figura 7.9	Perfiles Topográficos
Figura 7.10	Perfiles Topográficos
Figura 7.11	Perfiles Topográficos
Figura 7.12	Patrón de Radiación Acimutal
Figura 7.13	Patrón de Radiación Vertical (Elevación)
Figura 7.14	Orientación del Sistema Radiante
Figura 7.15	Diagrama Estructural
Figura 7.16	Diagrama de Conexión de los Equipos

Figura 7.17	Diagrama de Conexión del Sistema Radiante
Figura 7.18	Diagrama Unifilar del Sistema Eléctrico
Figura 7.19	Distribución de Cargas
Figura 7.20	Distribución de los equipos en el rack (vista frontal)
Figura 7.21	Distribución del Terreno.....
Figura 7.22	Distribución del Cuarto de Equipos
Figura 7.23	Sistema de Puesta a Tierra
Figura 8.1	Foot print Satellite INTELSAT 805@305.5° E
Figura 8.2	Antena Satelital Patriot
Figura 8.3.	LNB California.....
Figura 8.4	Splitter
Figura 8.5	IRD
Figura 8.6	Diagrama de bloques del IRD.....
Figura 8.7	Swich de Protección del Decoder
Figura 8.8	Diagrama de Bloques del swich de proyección
Figura 8.9	Modulo Switching para Video
Figura 8.10	Diagrama de Bloques del Video Switcher
Figura 8.11	Modulo Switching para Audio
Figura 8.12	Diagrama de Bloques del Audio Switcher
Figura 8.13	Transmisor VHF.....

Figura 8.14	Antena Transmisión VHF Banda III
Figura 8.15	Diagrama Radiación Horizontal
Figura 8.16	Diagrama Radiación Vertical
Figura 8.17	Separación entre antenas
Figura 8.18	Divisor de Potencia
Figura 8.19	Cable Cellflex ½"
Figura 8.20	Torre Comunicación
Figura 8.21	Conector F Macho
Figura 8.22	Conector BNC Macho
Figura 8.23	Conector XLR Macho y Hembra.....
Figura 8.24	Conector RCA Macho y Hembra
Figura 8.25	Adaptador F Hembra a RCA Macho.....
Figura 8.26	Conector N Macho
Figura 8.27	Conector DIN 7/16 Macho
Figura 8.28	Aterrizaje de Coaxiales
Figura 8.29	Cable RG-59 Catv
Figura 8.30	Cable RG-6 Catv.....
Figura 8.31	UPS Tripp-Lite
Figura 8.32	Wave Form Monitor
Figura 8.33	Rack de Comunicaciones
Figura 8.34	Acondicionador de Aire.....
Figura 8.35	Televisor Panasonic
Figura 8.36	Antena VHF
Figura 8.37	Modelos Polares

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.1	Población y Tasa de Crecimiento cantón San Cristóbal y ciudad Puerto Baquerizo Moreno según censos.....	
Tabla 1.2	Datos climatológicos de la Isla San Cristóbal.....	
Tabla 2.1	Ubicación Internacional por Bloques de frecuencias para Televisión	
Tabla 2.2	Asignación de las Bandas para Canales de Televisión en los Estados Unidos según la FCC.....	
Tabla 2.3	Máxima Potencia para Estaciones de Televisión.....	
Tabla 2.4	Grados de Servicio	
Tabla 2.5	Limites en la Bandas de Señal	
Tabla 2.6	Especificaciones Técnicas del NTSC.....	
Tabla 2.7	Especificaciones Técnicas de PAL.....	
Tabla 2.8	Especificaciones Técnicas de SECAM.....	
Tabla 2.9	Estándares Internacionales de Televisión.....	
Tabla 3.1	Parámetros de la Norma 4:2:2:.....	
Tabla 3.2	Velocidad de información máxima utilizable	
Tabla 6.1	Frecuencias de Operación.....	
Tabla 6.2	Ejemplos de atenuación	
Tabla 6.3	Desempeño de Estaciones Terrenas	
Tabla 6.4	Parámetros del Satélite Intelsat	
Tabla 6.5	Definición de Transponder de alquiler para Intelsat 805	
Tabla 6.6	Densidad de Pire Total, Ruido de salida HPA, Productos de De Intermodulacion	

Tabla 6.7	Valor X Calculo de Interferencia Cocanal.....
Tabla 6.8	Limites de Densidad Pire Intermodulacion del Transponder ..
Tabla 6.9	Requisitos de Polarización Intelsat 805.....
Tabla 6.10	Estándares de Estaciones Terrenas
Tabla 7.1	Condiciones mínimas de un Enlace Satelital de Televisión Digital con Modulación QPSK.....
Tabla 7.2	Estudio Comparativo para elegir el tamaño de la antena receptora
Tabla 7.3	Nivel de señal de la entrada del demodulador IRD.....
Tabla 7.4	Grados de Servicios para Señales de Televisión.....
Tabla 7.5	Calculo del campo eléctrico en función de la potencia Isotrópica radiada efectiva
Tabla 7.6	Tabulación de Patrón de elevación para 1 Bay, sin beam tilt, ni relleno de nulos
Tabla 7.7	Tabulación del Perfil Topográfico Norte @ 90°
Tabla 7.8	Tabulación del Perfil Topográfico Sur @ 270°
Tabla 7.9	Tabulación del Perfil Topográfico Este @ 0°.....
Tabla 7.10	Tabulación del Perfil Topográfico Oeste @ 180°
Tabla 7.11	Tabulación del Perfil Topográfico Nor-este @ 45°.....
Tabla 7.12	Tabulación del Perfil Topográfico Sur-este @ 315°.....
Tabla 7.13	Tabulación del Perfil Topográfico Nor-oeste @ 135°.....
Tabla 7.14	Tabulación del Perfil Topográfico Sur-oeste @ 225°
Tabla 7.15	Altura Efectiva de cada radial.....
Tabla 7.16	Comparación entre la distancia hacia el null y la distancia Hasta el haz principal con la distancia hasta la ciudad

Tabla 7.17	Niveles de señal esperado cuando el transmisor transmite A su capacidad nominal.....
Tabla 7.18	Niveles de señal esperado cuando el transmisor transmite A 50 % de capacidad nominal
Tabla 7.19	Capacidad del Sistema de Protección UPS
Tabla 7.20	Planillaje del Sistema Eléctrico
Tabla 7.21	Calculo de Carga del Sistema Eléctrico
Tabla 7.22	Tabla para Elección de Conductores y Disyuntores
Tabla 7.23	Elección del Medidor de Energía Eléctrica.....
Tabla 7.24	Elección del rack para la Instalación de los equipos.....
Tabla 7.25	Especificaciones Técnicas Principales del Proyecto.....
Tabla 7.26	Costos de Equipos y Accesorios
Tabla 7.27	Costo Total del Proyecto
Tabla 7.28	Cronograma de Ejecución del Proyecto
Tabla 8.1	Valores de Angulo de Elevación.....
Tabla 8.2	Características del Sistema de Antenas.....
Tabla 8.3	Características del Divisor de Potencia Simétrico.....
Tabla 8.4	Valores de Atenuación del cable Heliax ½" (Rimas)
Tabla 8.5	Valores de Atenuación para Cable RG-59
Tabla 8.6	Valores de Atenuación para Cable RG-6
Tabla 8.7	Valores de Atenuación para Cable Heliax ½"
Tabla 8.8	Valores para Canales VHF 7, 9 , 11, 13.....

INTRODUCCION

Ha pasado más de medio siglo desde que la aparición de la televisión revolucionó al mundo como una nueva forma de comunicación, entretenimiento y educación. Pero también con el pasar de los años, la televisión ha experimentado muchos cambios desde sus inicios como un sistema monocromático, pasando luego al sistema de color (ambos como sistemas análogos), para llegar al sistema digital actual.

Desde luego que estos cambios también involucraron a la tecnología que permite la difusión de las señales televisivas. Por ejemplo, antiguamente las señales satelitales de televisión eran analógicas y estas necesitaban ocupar todo un transpondedor para su emisión. Pero con la llegada de la digitalización y la compresión de las imágenes, es posible optimizar tanto los recursos satelitales que actualmente es posible enviar muchas señales televisivas en un solo transpondedor y además utilizar al mismo para enviar otro tipo de servicio como la Internet, telefax, etc.

La tendencia actual del mundo, es de proporcionar servicios de televisión enteramente digitales. Pero en nuestro país, las señales televisivas son aún analógicas, y pasarán algunos años hasta que los usuarios reciban una señal de televisión digital, ya que esto actualmente representa una altísima

inversión económica para las emisoras televisivas ecuatorianas y para los propios usuarios. Además, aún existen lugares que aún no tienen el servicio de televisión convencional y que se mantienen poco comunicados con el resto del país.

Debido a la situación actual de nuestro país y a la tendencia mundial, nuestro trabajo ofrece como solución utilizar una señal de televisión digital para difundirla en forma analógica a una determinada población de nuestro país.

Nuestro estudio esta dirigido para dar servicio en forma particular a la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno de la isla San Cristóbal en la provincia de Galápagos, para que tengan acceso a la programación del Canal Internacional de Televisión Ecuatoriana con sede en la ciudad de Guayaquil.

Para lograr este propósito, se diseñará un sistema receptor demodulador satelital que permita capturar la señal digital que transmite el Canal Internacional de Televisión Ecuatoriano a través del transpondedor 805 de Intelsat.

Luego diseñaremos el sistema que permita la codificación y transmisión analógica de la señal televisiva hacia la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno.

CAPITULO I

PROVINCIA DE GALÁPAGOS

1.1. DIVISION POLITICA

Provincia marítima en el océano Pacífico, a un 1.000 Km. de la costa. Con una superficie de 8.010 Km², está formada por 13 islas, 17 islotes y 47 rocas de diferentes tamaños

Su capital, Puerto Baquerizo Moreno, se encuentra en la isla San Cristóbal.

La provincia de galápagos esta formada por las siguientes islas: Isabela, San Cristóbal, Santa Cruz, Floreana, Española, Fernandina, Genovesa, Marchena, Pinta, Pinzon, Rabida, San Salvador, Santa Fe, Baltra, Teodoro Wolf, Charles Darwin, con sus islotes adyacentes.

Políticamente esta conformada por los cantones: san Cristóbal, santa cruz e Isabela.

El cantón san Cristóbal con su cabecera cantonal puerto Baquerizo Moreno, tiene como parroquia la población el progreso con sus recintos la soledad, el socavón tres palos y el chino y la isla Floreaba con el puerto Velasco Ibarra

El régimen administrativo esta a cargo de un gobernador quien ejerce las funciones de teniente político y jefe del registro civil en san Cristóbal y en la isla santa cruz.

En cada cantón existe un comisario nacional que hace las veces de inspector del trabajo y en cada parroquia un teniente político. Cada cantón tiene un municipio. La administración de justicia es ejercida por un juez provincial con asiento en puerto Baquerizo Moreno; por un juez cantonal, un juez de trabajo e inquilinato y un agente fiscal de lo penal que ejerce sus funciones en puerto Ayora.

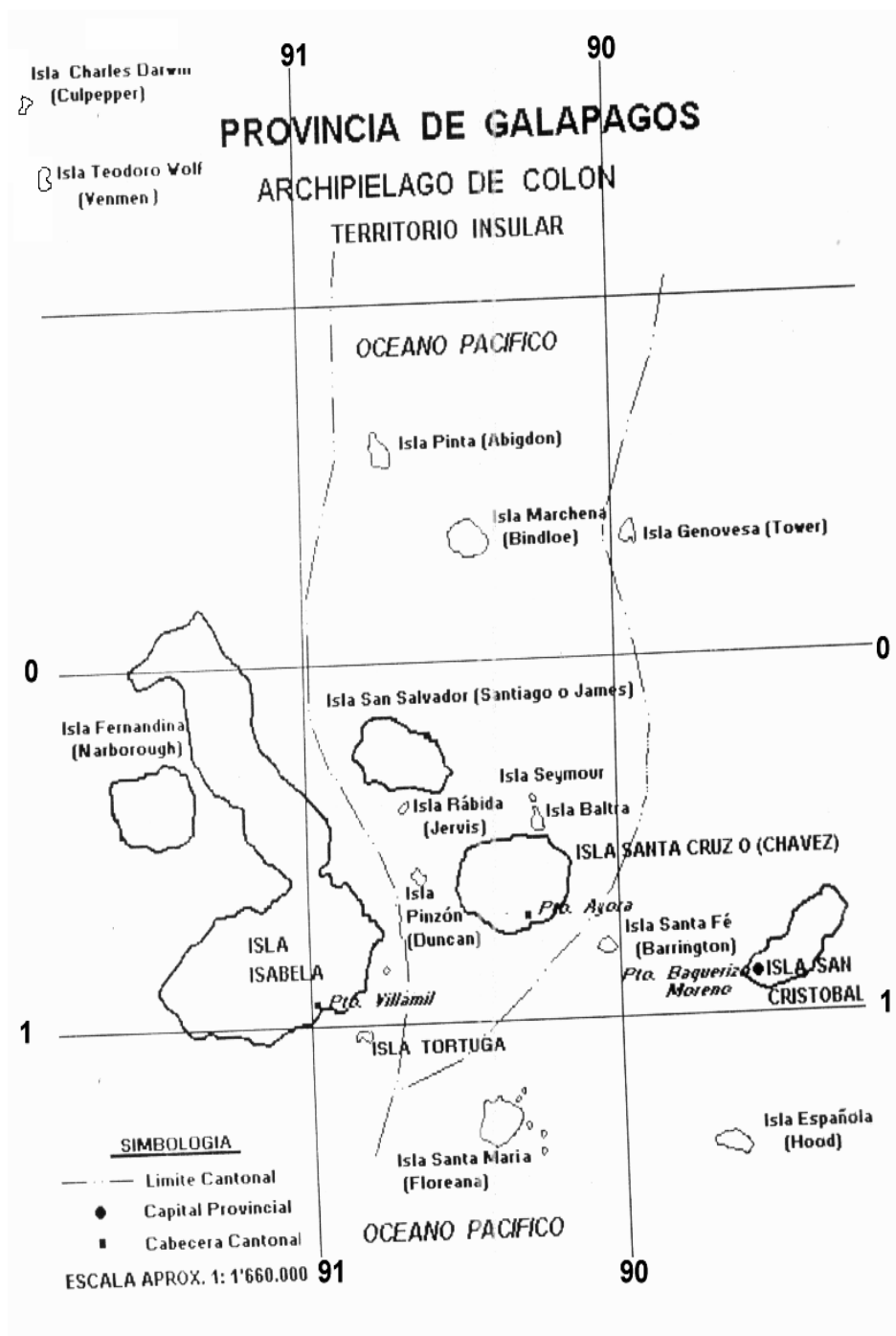


Figura 1.1 PROVINCIA DE GALÁPAGOS

1.2 ESTADISTICAS POBLACIONAL DE LA ISLA SAN CRISTOBAL

Con el fin de obtener información previa para empezar a realizar el estudio acerca de diseñar una estación terrena en la Isla de San Cristóbal con el objetivo de recibir una señal de satélite y luego propagar esta señal a la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno, se hizo necesario investigar meteorología, estadísticas, censos de vivienda, etc, para saber diferentes aspectos que se involucraban con este tema. De tal forma que se los presentan a continuación:

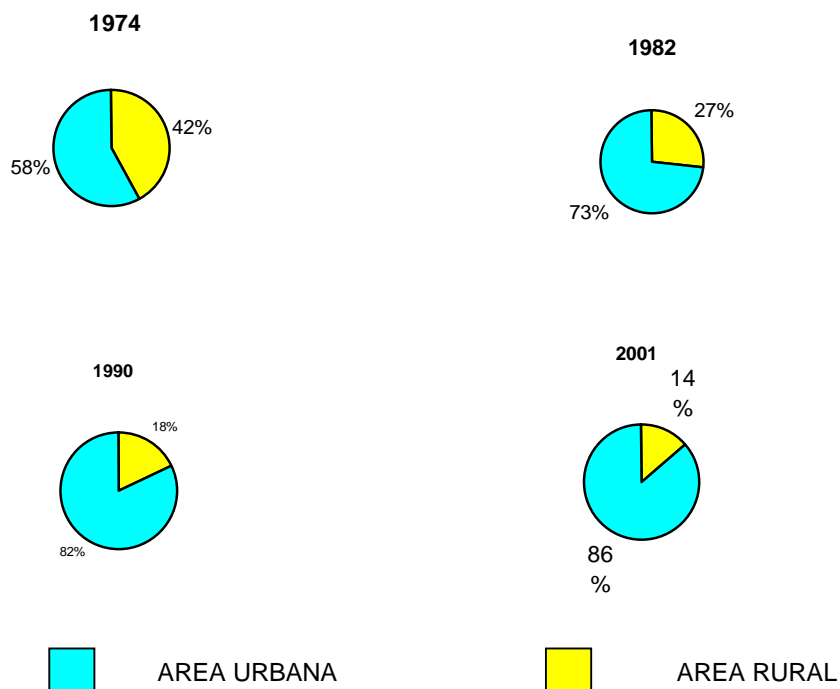


Figura 1.2 EVOLUCION DE LA POBLACIÓN URBANA Y RURAL, CENSOS 1974 - 2001

AÑO CENSAL	POBLACIÓN			TCA %		
	PROV.	CANTON	CIUDAD	PERIOD.	CANTON	CIUDAD
1974	4.307	2.014	1.311	74 - 82	1,68	2,75
1982	6.119	2.321	1.655	82 - 90	5,50	7,53
1990	9.785	3.603	3.023	90 - 01	3,96	4,28
2001	18.345	5.567	4.842			

**Tabla 1.1 POBLACIÓN Y TASA DE CRECIMIENTO CANTON SAN CRISTÓBAL Y
CIUDAD DE PUERTO BAQUERIZO MORENO SEGÚN CENSOS.**

1.3 CONDICIONES CLIMÁTOLÓGICAS Y METEREOLÓGICAS

Con esta información mas la ayuda de un mapa orográfico y censal de la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno, podemos definir si la ciudad está creciendo o no, hacia a donde crece geográficamente, si tiene o no los servicios básicos, en que lugares los tiene, para que con toda esta información poder tener criterio de decidir donde sería el mejor lugar para la estación terrena.

Sin embargo, estos criterios no son suficientes para determinar que tipo de instrumentos vamos a utilizar para la recepción de una señal que proviene de un satélite y luego propagarla en la ciudad, también tomamos en consideración las características meteorológicas del sector.

Cabe resaltar que esta información se maneja con mucha reserva por parte de la INAMHI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, y del INOCAR, Instituto Nacional Oceanográfico de la Armada Nacional, los cuales solo tienen hasta el Anuario Meteorológico de 1994 publicado, anuario sobre el cual se trabajó.

No obstante, de no ser por el invierno de la década del 80, no es muy cambiante la meteorología del lugar, el anuario en mención compara los datos comprendidos entre los años 1965 hasta 1989 con los datos de 1994, y en los meses que no son de invierno es prácticamente igual cada año.

A continuación se detalla los conceptos con los cuales se tiene que familiarizar cualquier persona para poder entender las tablas y gráficos que se presentan luego.

1.3.1 TEMPERATURA DEL AIRE

Magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio medio de las moléculas en un cuerpo físico; en el caso de atmósfera, el aire. Llámese *Temperaturas extremas*, a los valores máximo y mínimo de temperatura del aire observados durante un periodo de observación dado.

1.3.2 HUMEDAD ATMOSFERICA

Se define como humedad atmosférica al contenido del vapor de agua en el aire, existen tres parámetros que reflejan este contenido de vapor de agua en el aire:

- Tensión de vapor.- Fuerza ejercida por el vapor de agua sobre la superficie de la tierra independientemente de la ejercida por el resto de gases que constituyen el aire. Se mide en *Hectopascales* por tratarse de presión. Llámese *Tensión de vapor saturante* a la fuerza ejercida por el vapor de agua cuando el aire está saturado o sea contiene la mayor cantidad posible de vapor de agua a la temperatura actual.
- Humedad Relativa.- Es un parámetro que determina el grado de saturación de la atmósfera. Está definido por la relación existente entre la tensión de vapor actual y la tensión de vapor saturante a una determinada temperatura, multiplicada por cien. Su unidad de medida es el *porcentaje*, mientras más alto sea el porcentaje, mayor es el grado de saturación de la atmósfera.

$$H.R.= (E/E_s) \times 100 \quad (1.1)$$

- Temperatura del punto de rocío.- Es la temperatura a la que hay que enfriar una masa para que se sature, a presión y humedad constantes. Se mide en *grados centígrados* y normalmente se usa el término *Punto de rocío* para significar Temperatura del Punto de Rocío.

1.3.3 PRECIPITACIÓN ATMOSFERICA

Hidrometeoro, consiste en la caída de lluvia, llovizna, nieve, granizo, hielo granulado, etc. desde las nubes a la superficie de la tierra. Se mide en alturas de precipitación en mm, que equivalen a la altura obtenida por la caída de un litro de agua sobre la superficie de un metro cuadrado. El mínimo de agua que debe recogerse para que se considere un día con precipitación varía de un país a otro, en general, es de 0.1 mm.

1.3.4 HELIOFANIA

Medida de la radiación solar, desde el punto de vista de la duración en tiempo de la radiación solar con la intensidad suficiente para producir formas definidas. Se mide en horas y minutos de brillo solar.

1.3.5 EVAPORACIÓN

Hidrometeoro, que se refiere a la emisión de vapor de agua a la atmósfera por una superficie libre de agua líquida pura, a una temperatura inferior al punto de ebullición. Llámese Evaporación Potencial, a la máxima cantidad de vapor que podría ser emitida a la atmósfera por una superficie de agua líquida pura, a las condiciones dadas, siempre que se cuente con una cantidad suficiente de agua, o sea disponiendo en todo momento del agua necesaria para evaporar.

1.3.6 VIENTO

Movimiento del aire con respecto a la superficie de la tierra en una dirección y velocidad determinadas. Las direcciones se toman de donde viene o procede el viento (N, NE, E, SE, S, SW, W y NW), velocidades en *metros por segundo*. Llámese calmas cuando el valor obtenido de la velocidad del viento es cero metros por segundo ($V = 0 \text{ m/s}$).

1.3.7 NUBOSIDAD

Fracción de la bóveda terrestre cubierta por la totalidad de nubes visibles, se divide a la bóveda celeste en octavos llamados *octas*.

1.4 RESUMEN CLIMATOLOGICO Y GRAFICOS

Conjuntamente al resumen climatológico se presentan dos gráficos de distribución temporal de precipitación y temperatura. En el gráfico de barras de precipitación compara las sumas mensuales de precipitación del 94 con los valores multianuales de las sumas mensuales de precipitación de la serie comprendida entre 1965 y 1989. De igual manera en el gráfico de temperatura se compara la media mensual del 94 con los valores medios mensuales multianuales de la serie comprendida entre 1965 y 1989.

SAN CRISTOBAL - GALAPAGOS																			
MES	HELIOFANIA (HORAS)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)							HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION (mm)			NUMERO DE DIAS CON PRECIPITACION
		ABSOLUTAS			MEDIAS				Máxima	Día	Mínima	Día	Media			Suma Mensual	Máxima en 24hrs	Día	
		Máxima	Día	Mínima	Día	Máxima	Mínima	Mensual											
ENERO	225.5	30.9	28	21.1	15	29.1	22.8	25.5	97	13	63	14	81	22	26.4	40.4	23.2	30	8
FEBRERO	197.6	30.8	15	20.9	26	29.5	23	25.9	98	23	67	1	84	23	28	147.8	44	10	11
MARZO	283.8	32	6	19.8	17	29.8	21.7	25.3	97	30	54	6	82	21.8	26.1	3.6	3.3	4	2
ABRIL	271.5	30.9	4	20	6	29.2	21.5	24.6	99	23	63	4	83	21.4	25.5	0	0		0
MAYO	242.5	29.8	2	19.8	27	28.6	22	24.9	96	1	50	31	79	20.8	24.6	0	TT	31	0
JUNIO	163.3	28.7	17	20	25	26.8	21.5	23.6	97	6	66	10	82	20.2	23.7	8.3	2.4	25	11
JULIO	195.7	26.8	19	19	6	25.9	20.4	22.5	98	17	58	19	83	19.3	22.4	18.6	7.9	14	19
AGOSTO	169	25.6	3	17.8	15	24.4	18.9	21	100	10	63	8	82	17.8	20.4	8.5	1.6	2	17
SEPTIEMBRE	164.6	26.2	29	18.1	6	24.8	19.2	21.2	98	13	64	27	82	18.1	20.7	5.3	0.7	12	18
OCTUBRE	239	27.5	12	17.9	7	26	20.1	22.5	98	17	54	20	76	18	20.7	5.8	3.6	30	5
NOVIEMBRE	159.3	28.4	25	20	1	27.2	21.9	23.9	95	13	52	25	76	19.4	22.5	5.7	2.1	9	9
DICIEMBRE	161.1	30	28	21.5	5	28.1	23.1	24.9	98	11	62	13	82	21.7	26	87.1	20.1	20	18
VAL. ANUAL	2472.9	32		17.8		27.5	21.3	23.8	100		50		81	20.3	23.9	331.1	44		116

Tabla 1.2 DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LA ISLA SAN CRISTÓBAL

MES	EVAPORACION (mm)			NUBOSIDAD MEDIA (OCTAS)	VELOCIDAD MEDIA Y FRECUENCIAS DE VIENTO																Vel. Mayor			
	Suma	Máxima en	Día		N	NE		E		SE		S		SW		W		NW		CALMA	Nro	Observada	DIR	
	Mensual	24hrs				(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%					(m/s)	%	OBS	(m/s)
ENERO	245,7,	10.5	4	4	0.3	1	0	0	3.7	10	4.4	53	3.4	10	2.3	4	0	0	0	0	23	93	10,0	SE
FEBRERO	164.8	10.4	18	3	0.7	5	0	0	1.7	1	3.7	24	2.9	15	0.8	2	0.7	2	0.8	2	48	84	6,0	SE
MARZO	240.4	11	25	3	1.7	15	0.7	1	1.8	4	3.8	23	0	0	0	1.1	3	1.3	1	53	93	8,0	SE	
ABRIL	236.5	10	8	4	1.5	17	1	1	0.7	3	3.9	26	3.6	7	0	0	0.9	3	1	1	42	90	8,0	SE
MAYO				4	0.8	2	0	0	3.7	4	4.9	73	3.7	6	0	0	0	0	0	14	93	10,0	SE	
JUNIO	183.3	8.9	12	5	0	0	0	0	1.5	4	4.7	57	5.3	34	0	0	0	0	0	4	90	10,0	SE	
JULIO	184.1	9.3	19	5	1.3	1	0	0	0.8	3	4.7	49	4.9	40	1.7	1	1.3	2	0	0	3	93	12,0	S
AGOSTO	185.6	9.2	3	6	0	0	0	0	0	0	4.8	55	6.6	45	0	0	0	0	0	0	0	93	15,0	S
SEPTIEMBRE	173.1	10	28	6	0	0	0	0	0	0	5.1	47	5.1	50	2	1	0	0	0	2	90	10,0	S	
OCTUBRE	252.3	10.5	28	4	0	0	0	0	0	0	5.4	44	5.7	52	2.5	2	0	0	0	2	93	10,0	S	
NOVIEMBRE	64.8	10.1	4	5	0	0	0	0	0	0	4.5	30	5.1	64	1.8	2	0	0	0	3	90	10,0	S	
DICIEMBRE	186.7	9,4,	19	5	0	0	0	0	0	0	4.4	25	5.2	67	1.7	1	0	0	0	8	93	8,0	S	
VAL. ANUAL				5	0.5	3	0.1	0	1.2	2	4.5	42	4.3	33	1.1	1	0.3	1	0.3	0	17		15,0	S

Tabla 1.2 CONTINUACIÓN

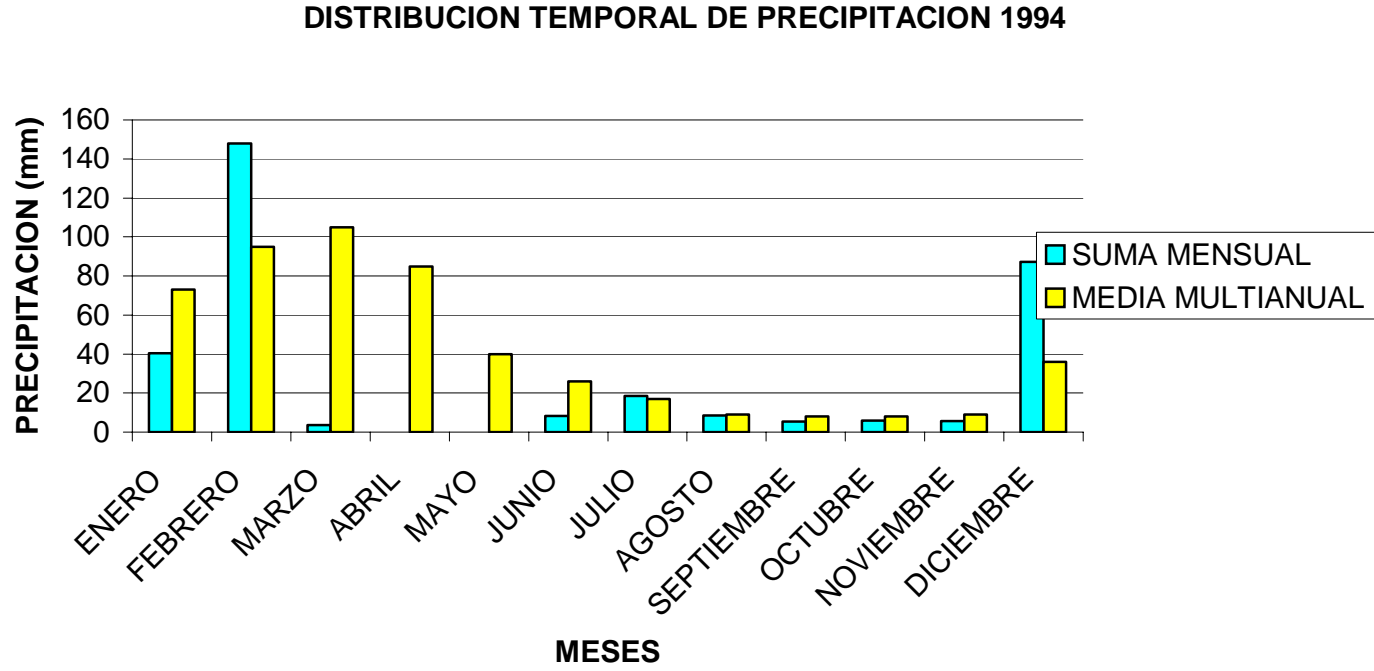


Figura 1.3 DISTRIBUCION DE PRECIPITACIONES

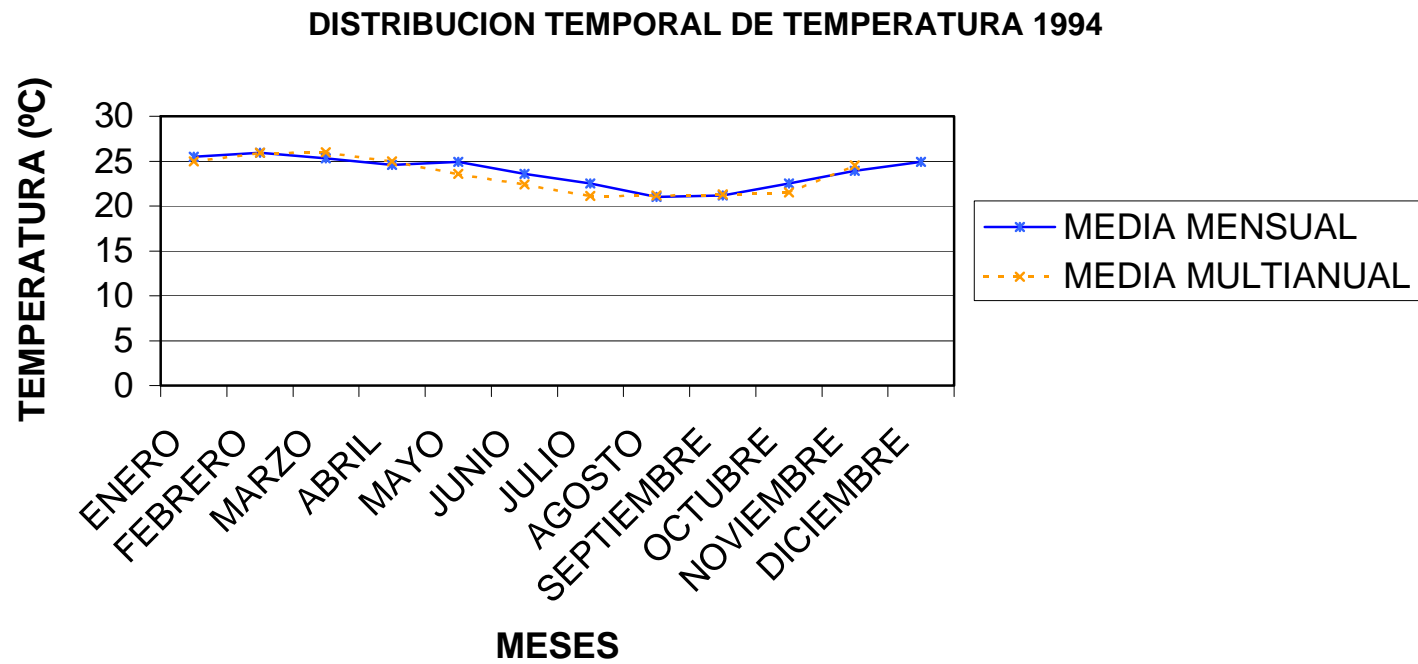


Figura 1.4 DISTRIBUCION DE TEMPERATURA

CAPITULO II

TELEVISIÓN ANALÓGICA

2.1 INTRODUCCION

La palabra televisión proviene de la palabra griega *tele* (que significa distante) y la palabra latina *visión* (que significa vista). En consecuencia, televisión solo significa ver desde cierta distancia. En su forma más sencilla, la televisión es el proceso de convertir imágenes (ya sea estacionaria o en movimiento) a señales eléctricas y después transformar esas señales en un receptor lejano, donde se convierten de nuevo a imágenes que se pueden percibir a simple vista. Por consiguiente, la televisión es un sistema en el cual la estación produce dos señales, el video originado por una cámara o reproductor de cinta de video, y el sonido desde un micrófono u otra fuente. Cada una de estas señales es generada, procesada y transmitidas por separado, el video como señal AM (amplitud modulada), y el sonido como señal FM (frecuencia modulada). Para que después sean recibidas en los receptores lejanos, donde se reproducen tanto la imagen como el sonido en sus formas originales.

2.2 BREVE HISTORIA

La idea de transmitir imágenes o fotografías se experimentó por primera vez en la década de 1880 cuando Paul Nipkow, un científico alemán, realizó experimento utilizando discos giratorios colocados entre una fuente luminosa potente y el sujeto. En el disco se hizo una hilera de orificios en espiral, lo cual permitía que la luz explorara el objetivo de arriba hacia abajo. Después de una revolución completa del disco, todo el objetivo era explorado. La luz que reflejaba el objetivo se dirigía a una celda fotosensible lo cual generaba una corriente proporcional, en intensidad, a la luz reflejada. La corriente que fluctuaba operaba con una lámpara de neón, la cual expedía una luz en proporción exacta a la que era reflejada por el objetivo. Un segundo disco exactamente igual al del transmisor se utilizaba en el receptor, y los dos discos giraban en sincronización exacta. El segundo disco estaba colocado entre la lámpara de neón y el ojo del observador, el cual veía una reproducción del sujeto. Las imágenes reproducidas con el artefacto de Nipkow eran casi irreconocibles, aunque sus principios de exploración y sincronización todavía se utilizan. En 1925, C. Francis Jenkins en USA y John L. Baird en Inglaterra, usando los discos para exploración conectados a amplificadores de tubo a vacío y a celdas fotoeléctricas, pudieron reconstruir imágenes reconocibles, si bien su calidad era aún baja. Los científicos trabajaron varios años intentando desarrollar discos efectivos para la

exploración mecánica que, con espejos y lentes mejorados y una fuente de luz más intensa, mejoraran la calidad de la imagen reproducida. Sin embargo, en 1933, la Radio Corporation of America (RCA) anunció un sistema de televisión, que desarrolló Vladimir K. Zworykin, el cual empleaba una técnica de exploración electrónica.

El sistema de Zworykin no requería de partes mecánicas movibles, en esencia, este es el sistema que se utiliza hoy. En 1941, comenzó en los Estados Unidos la emisión de señales de televisión monocromática (blanco y negro). En 1945, la FCC¹ asignó 13 canales de televisión VHF: 6 canales de banda baja, 1 al 6 (44 a 88 Mhz) y 7 canales de banda alta, 7 al 13 (174 a 216 Mhz). Sin embargo, en 1948 se descubrió que el canal 1 (44 a 50 Mhz) causaba problemas de interferencia, en consecuencia este canal fue reasignado a los servicios de radio móvil. En 1952, los canales de UHF del 14 al 83 (470 a 890 Mhz) fueron asignados por la FCC con el fin de proporcionar más estaciones de televisión. En 1974, la FCC reasignó las bandas de la telefonía celular en 825 a 845 Mhz y 870 a 890 Mhz, eliminando así los canales UHF del 73 a 83 (sin embargo las licencias son renovables).

En 1947, R. B. Dome de la General Electric Corporation propuso el método de transmisión de sonido *interportadora* para la emisión de televisión que se utiliza en la actualidad. En 1949, se iniciaron los experimentos de transmisión

¹ FCC, son las siglas para Federal Communications Commission

a color y en 1953 la FCC adoptó el sistema de la NTSC para la emisión de televisión a color, la cual se utiliza aún.

2.3 LA TELEVISIÓN COMO UN SISTEMA

Como se muestra en la figura 2.1, la televisión opera como cualquier sistema de transmisión, la estación y los numerosos receptores en el rango de sus señales. La estación produce dos clases de señales, el *video*, originado por cámaras o cintas grabadas de video, y el *sonido*, de un micrófono u otra fuente. Cada señal es generada, procesada y transmitida separadamente, el video como señal AM y el sonido como señal FM.

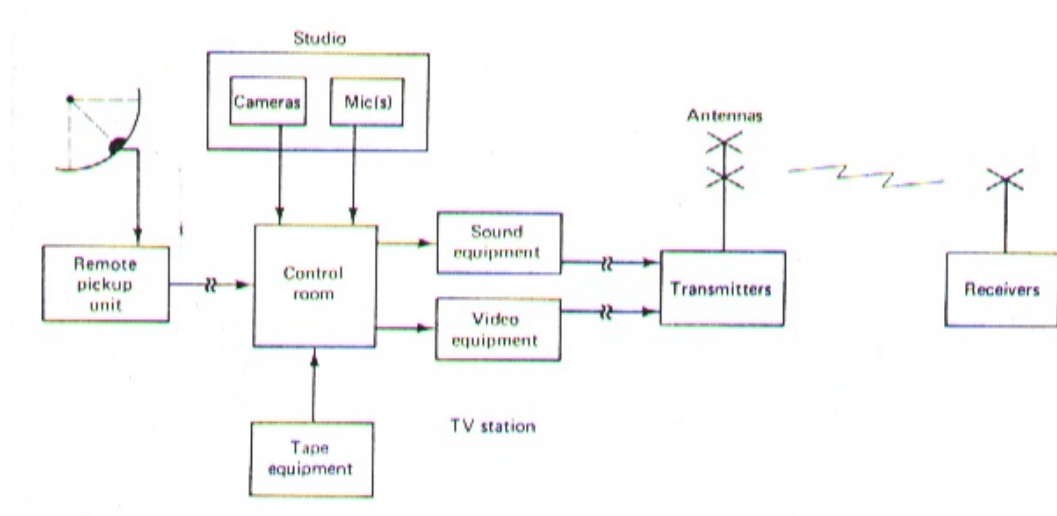


Figura 2.1: LA TELEVISIÓN COMO SISTEMA

2.4 CANALES DE DIFUSIÓN DE TELEVISIÓN

Las estaciones difusoras de televisión están asignadas en tres regiones en el ámbito mundial, como se muestra en la tabla 2.1. Las frecuencias en las bandas I, III, IV y V que se asignan para el hemisferio Oeste², en los Estados Unidos, según la FCC, cada canal ha sido dividido en bandas de 6 Mhz de anchura para la transmisión de la señal de imagen de modulación de amplitud y la señal de sonido de frecuencia modulada.

La transmisión de banda lateral vestigial se utiliza para la señal de imagen, de modo que las frecuencias de modulación de video hasta 4 Mhz puedan ser difundidas en el canal de 6 Mhz.

	Banda I, Mhz	Banda III, Mhz	Banda IV y V Mhz
REGION 1: Europa, Rusia, dentro y fuera de Europa, Mongolia Asia menor, Africa, y fuera de bandas adicionales para:	41 – 68	174 - 216	470 – 585
Francia	..... ...	162 - 174	
Italia	81 – 88		
Bélgica, Alemania, Suiza	..... ...	216 - 223	
REGION 2: Hemisferio Oeste incluido Hawaii	54 – 72 76 – 88	174 - 216	470 – 890
REGION 3: Oceanía, Asia (excepto las partes de región 1)	54 – 68 76 – 88	174 - 216	470 – 585 610 – 940
Australia	49 – 56 63 – 70 85 – 92 132 - 146	174 - 202 209 - 216	500 – 855

Tabla 2.1: UBICACIÓN INTERNACIONAL POR BLOQUES DE FRECUENCIAS PARA TELEVISIÓN

² La banda II corresponde 87.5 – 108 Mhz se utiliza para radiodifusión de sonido FM.. Banda IV, 470 – 582 Mhz. Banda V, 582-960 Mhz.

2.4.1 CANALES ASIGNADOS.

Como la frecuencia de portadora de imagen debe ser mucho más alta que la frecuencia de modulación de video más alta de 4 Mhz. Los canales de televisión son asignados en la banda VHF de 30 a 300 Mhz y en la banda de UHF de 300 a 3000 Mhz. La tabla 2.2 es una lista de los canales y frecuencias asignados por la FCC a las estaciones difusoras de televisión comerciales y educativos de los Estados Unidos.

Las frecuencias de los canales de televisión pueden ser consideradas distribuidas en tres grupos: los cinco canales de banda baja 2 a 6, la banda alta del 7 a 13 en el margen VHF y los 70 canales UHF 14 a 83. Las frecuencias que caen entre estas bandas de difusión de televisión son utilizadas por otros servicios de radio.

No. De canal	Banda En Mhz	No. de canal	Banda En Mhz	No. de canal	Banda En Mhz	No. de canal	Banda En Mhz
VHF		21	512 – 518	42	638 – 644	63	764 – 770
2	54 – 60	22	518 – 524	43	644 – 650	64	770 – 776
3	60 – 66	23	524 – 530	44	650 – 656	65	776 – 782
4	66 – 72	24	530 – 536	45	656 – 662	66	782 – 788
5	76 – 82	25	536 – 542	46	662 – 668	67	788 – 794
6	82 – 88	26	542 – 548	47	668 – 674	68	794 – 800
7	174 – 180	27	548 – 554	48	674 – 680	69	800 – 806
8	180 – 186	28	554 – 560	49	680 – 686	70	806 – 812
9	186 – 192	29	560 – 566	50	686 – 692	71	812 – 818
10	192 – 198	30	566 – 572	51	692 – 698	72	818 – 824
11	198 – 204	31	572 – 578	52	698 – 704	73	824 – 830
12	204 – 210	32	578 – 584	53	704 – 710	74	830 – 836
13	210 – 216	33	584 – 590	54	710 – 716	75	836 – 842
UHF		34	590 – 596	55	716 – 722	76	842 – 848
14	470 – 476	35	596 – 602	56	722 – 728	77	848 – 854
15	476 – 482	36	602 – 608	57	728 – 734	78	854 – 860
16	482 – 488	37	608 – 614	58	734 – 740	79	860 – 866
17	488 – 494	38	614 – 620	59	740 – 746	80	866 – 872
18	494 – 500	39	620 – 626	60	746 – 752	81	872 – 878
19	500 – 506	40	626 – 632	61	752 – 758	82	878 – 884
20	506 – 512	41	632 – 638	62	758 – 764	83	884 – 890

**Tabla 2.2: ASIGNACIONES DE LAS BANDAS PARA CANALES DE TELEVISIÓN EN
LOS ESTADOS UNIDOS SEGÚN LA FCC**

Esta asignación³ para los fue realizada para facilitar el máximo alcance libre de interferencias entre las bandas de frecuencias disponibles. Un canal (banda de frecuencia) puede ser utilizado por varias estaciones, pero éstas deben estar suficientemente separadas para minimizar la interferencia entre ellas. Estas estaciones que utilizan el mismo canal son las llamadas *estaciones de co-canal*.

La distancia entre ellas debe ser de 273.5 a 354 km (170 a 220 millas) en los canales VHF o 250 a 330 km (155 a 205 millas) en los canales UHF. Las estaciones que utilizan canales adyacentes, como los canales 3 y 4, son *estaciones de canal adyacente*. Para reducir la interferencia entre ellas, estas estaciones deben estar separadas 96.5 km (60 millas) en los canales VHF ó 88.5 km (55 millas) en los canales UHF. Sin embargo, los canales de número consecutivo pero no de frecuencias adyacentes, tales como los canales 4 y 5, los 6 y 7 o los 13 y 14 pueden ser asignados en un área.

La potencia efectiva irradiada (ERP o EIRP), es una medida del nivel de señal irradiado por la estación. Esta depende de la potencia de salida del transmisor, de las pérdidas en la línea de transmisión y de la ganancia de la antena.

³ La banda 44-50 Mhz fue el canal 1 de TV, pero ahora está asignada a otros servicios. Los canales 70 a 83 están también asignados a servicios de radio móvil terrestres. Para TV, estos canales UHF son utilizados principalmente por estaciones repetidoras.

En la operación de las estaciones de televisión, de acuerdo a la FCC, la máxima potencia efectiva irradiada visual en decibelios sobre 1KW (dBk) es como muestra la tabla 2.3

CANALES	MÁXIMO ERP
2 – 6	20 dBk = 100 Kw
7 – 13	25 dBk = 316 Kw
14 – 83	37 dBk = 5000 Kw

Tabla 2.3: MÁXIMA POTENCIA PARA LAS ESTACIONES DE TELEVISIÓN

2.4.2 GRADOS DE SERVICIO DE UNA ESTACION DE TELEVISIÓN.

La cobertura de una estación de televisión y la calidad de servicio están determinadas por la señal recibida y la intensidad de campo.

La calidad de servicio es relacionada a la intensidad de campo considerando los siguientes factores:

- Sensitividad del receptor (televisor)
- Relación señal ruido
- La ganancia de la antena receptora.

- Pérdidas en las líneas de transmisión (tanto en el transmisor como en el receptor)
- Figura de ruido.

La intensidad de campo requerida varía con la clase de servicio y la asignación de frecuencia como se observa en la tabla 2.4 donde aparecen los grados servicio de una estación televisora regulados por la FCC de los Estados Unidos de Norteamérica.

CANAL	FRECUENCIA [Mhz]	PRINCIPAL		GRADO A		GRADO B	
		[μ V/m]	dB μ	[μ V/m]	dB μ	[μ V/m]	dB μ
2 – 6 (VHF – L)	54 – 88	5010	74	2510	68	224	47
7 – 13(VHF – H)	174 – 216	7080	77	3550	71	631	56
14 – 83 (UHF)	470 – 806	10000	80	5010	74	1585	64

Tabla 2.4: GRADOS DE SERVICIO

Principal: Señal que proporciona una imagen óptima.

Servicio grado A: Señal que proporciona una imagen satisfactoria sin ruido.

Servicio grado B: Señal con ruido intermitente en la imagen.

Las variaciones de altura del terreno en una trayectoria determinada, las diferencias entre las ganancias de las antenas receptoras, hacen difícil

establecer cuando una señal es satisfactoria o no satisfactoria. En muchos casos con una misma antena, un televisor moderno puede darnos, una calidad de imagen sensiblemente mayor que otros, de allí la necesidad de referirnos a los valores tabulados como límites en los grados de la señal, valores que son muy conservadores por cuanto no consideran antenas de alta ganancia, ni receptores modernos de gran sensibilidad, vea la tabla 2.5

	INTENSIDAD DE CAMPO ESTIMADA		
	PROBABLEMENTE	CUESTIONABLE	PROBABLEMENTE
CANAL	NO SATISFACTORIA		SATISFACTORIA
2 al 6	menos de 40 dBu	40 - 47 dBu	sobre los 47 dBu
7 al 13	menos de 50 dBu	50 - 56 dBu	sobre los 56 dBu
14 al 69	menos de 60 dBu	60 - 65 dBu	sobre los 65 dBu

Tabla 2.5: LIMITES EN LOS GRADOS DE LA SEÑAL

La figura 2.2, muestra el campo estimado para canales de televisión a diferentes alturas y potencias, donde la altura es la *altura efectiva* de la antena sobre el promedio del terreno.

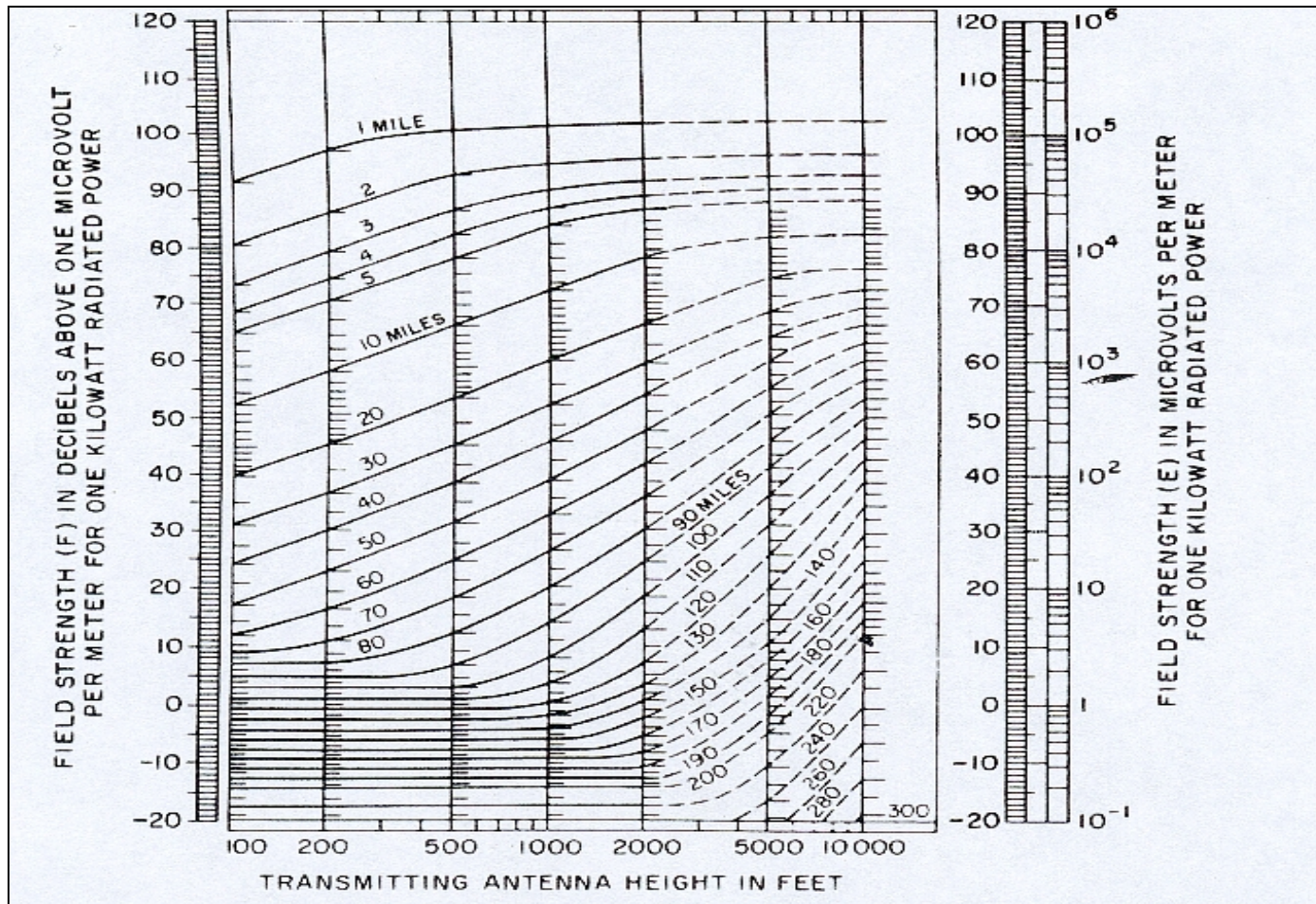


Figura 2.2: ESTIMACIÓN DE LA INTENSIDAD DE CAMPO A DIFERENTES ALTURAS Y POTENCIAS a) CANALES 2-6 y 14-83

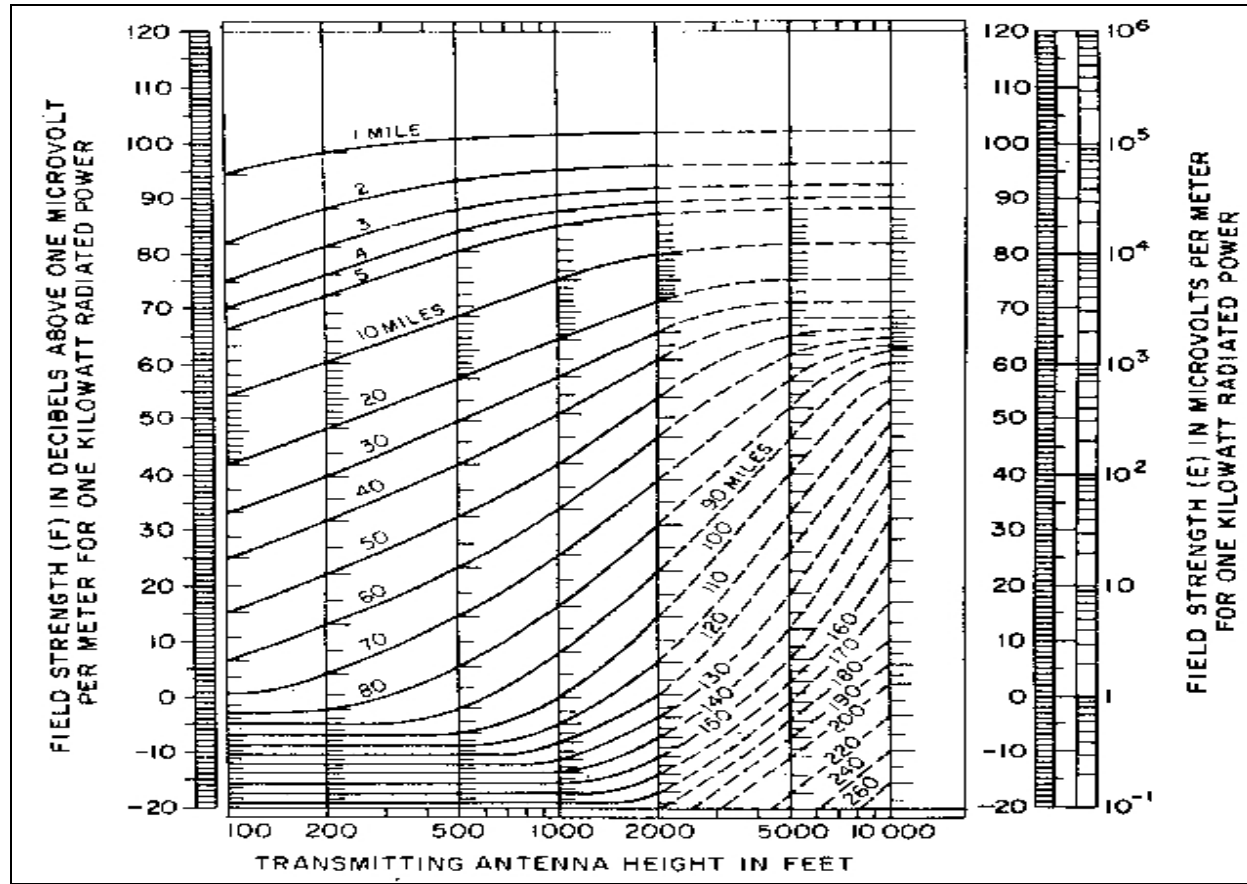


Figura 2.2 (continuación): ESTIMACIÓN DE LA INTENSIDAD DE CAMPO A DIFERENTES ALTURAS Y POTENCIAS, b) CANALES
7-13

2.5 TRANSMISOR DE TELEVISION

La emisión de televisión involucra la transmisión de dos señales por separadas: un aural (sonido) y una señal de vídeo (imagen). Cada transmisor de televisión emite dos señales totalmente separadas para la información de la imagen y sonido. La transmisión aural, utiliza la modulación de frecuencia y la transmisión de vídeo la modulación de amplitud. La figura 2.3 muestra un diagrama de bloques simplificado para un transmisor de televisión. Ilustra dos transmisores totalmente separados (Un transmisor de FM para la información de sonido y un transmisor de AM para la información de imagen) cuyas salidas están combinadas en un puente diplexor y alimentan una sola antena. Un puente diplexor es una red que se utiliza para combinar las salidas de dos transmisores que operan a diferentes frecuencias y utilizan el mismo sistema de antena.

La información de vídeo se limita a las frecuencias menores a 4Mhz y puede generarse mediante una cámara (para transmisores en vivo), un vídeo cassette o grabadora de cassette, o una grabadora de disco de vídeo. El interruptor de vídeo se utiliza para seleccionar la fuente de información de vídeo que se desea emitir. La información de audio se limita a frecuencias menores a 15 khz y puede generarse en un micrófono (de nuevo, solo para las transmisiones en vivo), mediante pistas de sonido en grabadoras de

cassette o disco, o en un cassette de audio o grabadora de discos independiente. El mezclador / interruptor de audio se utiliza para seleccionar la fuente de audio apropiada para emitir. La figura 2.3, también muestra las señales de sincronización horizontal y vertical, las cuales se combinan con la información de la imagen antes de la modulación. Estas señales se utilizan en los receptores para sincronizar las razones de exploración horizontal y vertical.

Entre las principales características de un transmisor tenemos el rango de frecuencia de operación, ya sean para VHF o UHF, el nivel de potencia máxima pico visual, el estándar de transmisión y la constitución de sus amplificadores de potencia, sean estos de estado sólido o tubos en vacío. Los transmisores para VHF tienen rangos típicos de potencia de salida que va desde 5 kw hasta 50 Kw, en cambio en los de UHF, el típico rango es de 20 kw a 220 kw, pero también se los puede encontrar en valores menores de 20 kw a 1 w, y de 5 kw a 1 w para transmisores UHF o VHF respectivamente.

A partir de 1kw a 1w, los transmisores pueden ser convertidos en repetidores y trasladores, cuyos amplificadores son construidos con elementos de estado sólido. Los transmisores de alta potencia en UHF han sido desarrollados gracias a los amplificadores klystron de múltiples cavidades de alta potencia

y ganancia. Si estos tubos no se hubieran desarrollado los transmisores de UHF estarían basados en los tetrodos usados para los transmisores VHF, con lo cual no sería técnica ni económicamente accesibles, debido a que los tetrodos en los canales UHF tienen relativamente baja ganancia, potencia de salida limitada y corta vida, por lo cual las principales ventajas de los amplificadores klystron de múltiples cavidades en UHF son: la alta potencia de salida, alta ganancia y un gran ancho de banda.

La alta ganancia de los tubos klystron minimiza el número de etapas RF requeridos en el transmisor, la característica del ancho de banda hace necesario un tedioso y crítico ajuste de ancho de banda y el tubo ha demostrado su estabilidad, larga vida y confiabilidad. Pero la eficiencia típica de los transmisores en UHF en función del consumo de potencia versus potencia de salida es relativamente baja comparándola con la de los transmisores en VHF, lo cual ocasiona un gran consumo de potencia para los radiodifusores de UHF, ya que generalmente utilizan altas potencias en sus transmisores, además de ser menos eficientes que los transmisores en VHF (potencia consumida contra potencia de salida rf) y por lo tanto consumiendo una gran potencia por kilovatio de salida.

Actualmente se han desarrollado transmisores UHF de menor costo, mayor potencia y mayor eficiencia, lo cual permite facilidades económicas para el campo de operación UHF. Aun si la eficiencia y el costo de los transmisores

en UHF fuera igual que los de VHF, lo cual es improbable, permanece el hecho de que la transmisión en UHF emplea una mayor potencia de transmisión y consecuentemente un mayor consumo eléctrico para mantener una paridad de cobertura con las estaciones VHF. Estos hechos nos indican que las transmisiones en UHF permanecen económicamente mayores que las de VHF, además de las ventajas de los transmisores, que por sus características de funcionamiento presentan mejores condiciones que los de UHF.

2.5.1 UBICACIÓN DEL TRANSMISOR.

La localización del transmisor debe ser elegida basándose en el ERP y la altura de las antenas sobre el promedio del terreno, de tal manera que se proporcionen una intensidad de campo mínima en decibelios sobre 1 micro voltio por metro (dBu/m) sobre la comunidad principal a ser servida, véase la tabla 2.4. Las curvas de las figuras 2.2, muestra la intensidad de campo estimado para los canales de televisión a diferentes alturas y potencias.

2.5.2 UBICACIÓN DE LAS ANTENAS.

Los lugares para la ubicación de las antenas de las estaciones de televisión, deben ser escogida de tal manera que exista claridad para la primera zona

de Fresnel en las áreas a ser servidas y poder suministrar el mejor grado de servicio, siendo esta la principal consideración a realizar. Las colinas con laderas suavemente inclinadas no se deben escoger por que la intensidad de campo es reducida debido a la baja altura de la antena sobre el plano de reflexión y pueden ocurrir campos no uniformes y fantasmas en áreas distantes que se encuentran dentro de la línea de vista de la antena transmisora. Así mismo, se deben evitar los sitios rodeados de edificios altos, a no ser que se la pueda colocar sobre alguno de ellos.

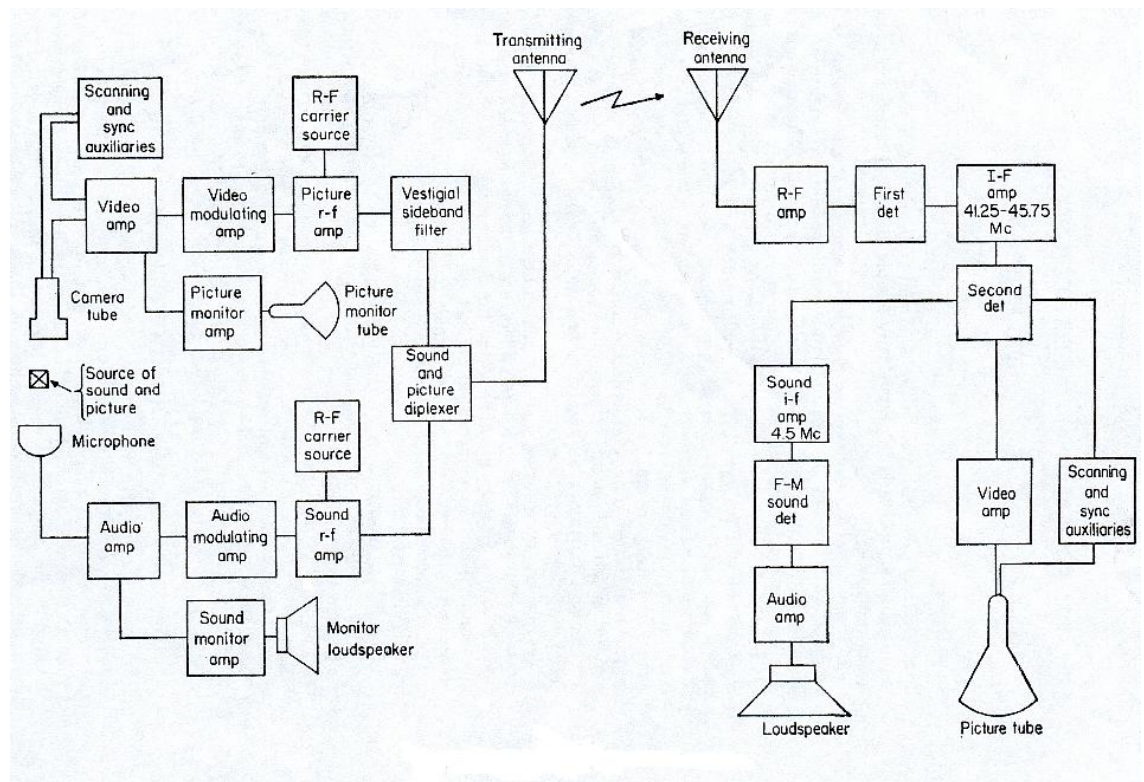


Figura 2.3: DIAGRAMA EN BLOQUE SIMPLIFICADO PARA EL TRANSMISOR DE TELEVISIÓN MONOCROMÁTICO Y EL RECEPTOR.

2.5.2.1 ALTURA EFECTIVA DE LA ANTENA.

La altura de la antena es la altura del centro de radiación de la antena sobre el promedio del terreno. El promedio del terreno es determinado por las elevaciones entre 2 y 10 millas desde el sitio de la antena, tomados a lo largo de 8 radiales (ayudados de perfiles topográficos) y separados 45° en azimut. La potencia efectiva radiada (ERP) es el producto de la ganancia de la antena y la potencia de entrada a la antena. La potencia de entrada a la antena es la potencia pico visual de salida del transmisor menos las pérdidas de la línea de transmisión y diplexer.

Si torres de antenas extremadamente altas son utilizadas, es siempre deseable proveer inclinación del haz⁴ (beam tilt) y rellenos de nulos⁵ (null fill) para mejorar el encierro del área a cubrir. En estos casos la ganancia de la antena en el plano horizontal es usada para calcular la potencia equivalente radiada. Sin embargo, en la práctica la altura de las antenas debe ser mínima diez veces la longitud de onda de la señal de video, y la torre tiene como limitación máxima de altura, la claridad del espacio aéreo y por supuesto el factor costo, ya que a más altura de torre mayor será su costo.

⁴ La inclinación del haz puede ser hecha electrónicamente o mecánicamente.

⁵ Llámese nulos a los puntos donde el campo es cero. La distancia a un nulo desde la antena se calcula por: $D_n = H_e / \text{sen}\alpha$. Donde α : ángulo del nulo y H_e : altura efectiva de la antena en el radial.

La relación de máximo a mínima radiación en el plano horizontal no excederá los 10 dB para los canales 2 – 13, y 15 dB para los canales 14 – 83 si la potencia del transmisor es de más de 1kw, pero no hay restricción para canales 14 – 83 si la potencia del transmisor es 1kw o menos.

2.5.2.2 ESTACIONES REPETIDORAS.

Algunas zonas están sombreadas por montañas o demasiado lejanas de la emisora más próxima, para que la difusión de televisión pueda prestar un servicio satisfactorio. En este caso se puede utilizar una estación repetidora situada en un lugar conveniente para la recepción y para volver a difundir el programa hasta los receptores del área local. Algunas estaciones repetidoras convierten las frecuencias del canal VHF para volverlo a difundir en el canal UHF, reduciendo así las dificultades de interferencia. Estas son las estaciones *trasladoras*.

Los trasladadores VHF no deben excederse 1w de potencia pico visual excepto donde se autorice en una comunidad listada en la tabla de asignaciones, en cuyo caso pueden ser operadas con una potencia de 100w. Los trasladadores UHF serán limitados a 100w de potencia de salida pico visual.

Las armónicas de radiofrecuencia deben ser al menos 60 dB debajo de la potencia de salida pico visual. Todas las otras emisiones de más de 3 Mhz

fuera del canal serán -30 dB para transmisores fijos en al menos 10 W, y -50 dB para transmisores puestos a 10 W o más.

2.6 EL CANAL ESTANDAR O NORMALIZADO

La figura 2.4, muestra el espectro de la frecuencia para un canal de radiodifusión de televisión estándar. Su ancho de banda total es de 6 Mhz. La portadora de la imagen esta espaciada a 1.25 Mhz arriba del limite inferior para el canal y la portadora de sonido a 0.25 Mhz abajo del limite superior. Por tanto, las portadoras de imagen y de sonido tienen siempre 4.5 Mhz de separación.

La subportadora de color esta ubicada a 3.58 Mhz arriba de la portadora de imagen. La radiodifusión de televisión comercial utiliza una transmisión de banda lateral vestigial para la información de la imagen. La Banda lateral inferior es de 0.75 Mhz de ancho y la banda lateral superior de 4 Mhz. En consecuencia, las frecuencias bajas de vídeo (un perfil general de la imagen) se enfatizan con relación a las frecuencias altas de vídeo (detalles más exactos de la imagen)

La portadora de sonido FM tiene un ancho de banda de 75 Khz aproximadamente (± 25 Khz desviación para la modulación al 100%). La

modulación de amplitud y fase se usa para codificar la información de color en la subportadora de color de 3.58 Mhz.

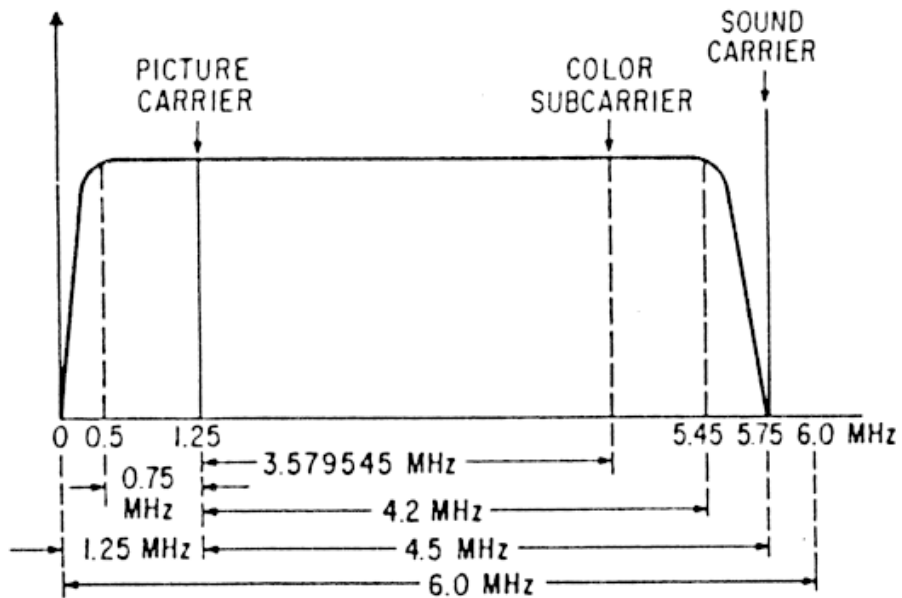


Figura 2.4: CANAL DE RADIODIFUSION DE TELEVISION ESTANDAR

2.7 TRANSMISION EN BANDA LATERAL VESTIGIAL

En radiodifusión, todas las bandas laterales superior e inferior son transmitidas igualmente, pero en televisión no es factible porque la disponibilidad de frecuencias es limitada. Algunos sistemas de comunicación

usan transmisión banda lateral única (donde solamente una sola banda es transmitida) y otros utilizan transmisión en doble banda lateral. En muchas aplicaciones de transmisión en banda lateral única no se transmite la propia portadora a fin de ahorrar potencia suprimiéndola. Entonces sólo se transmite una banda lateral, en este, caso la portadora debe ser reinsertada en el receptor para detectar la señal.

Un método intermedio de la transmisión de doble banda lateral y la de banda lateral única es el que se utiliza en el servicio de transmisión de televisión para la señal AM portadora de imagen. En este sistema, llamado *transmisión de banda lateral vestigial o residual*, se transmite íntegramente una banda lateral, pero la otra banda lateral solo se transmite una parte, un vestigio o residuo. Asimismo se transmite la portadora.

Más concretamente, es transmitida toda la banda lateral superior de la señal AM de imagen, incluyendo las frecuencias de modulación de video de hasta 4 Mhz. La banda lateral inferior incluye solamente las frecuencias de modulación de video hasta 0.75 Mhz aproximadamente, para conservar la anchura de banda en el canal de servicio. Esta transmisión de banda lateral vestigial utilizada en televisión es designada por la Federal Communications Comisión (FCC) como emisión tipo A5C.

La ventaja de transmitir en banda lateral residual se desprende de que la portadora de imagen está separada 1.25 Mhz del extremo del canal, permitiendo que sean transmitidas las frecuencias de modulación de video de hasta 4 Mhz en el canal de 6 Mhz. Si se emplease transmisión de doble banda lateral con la portadora de imagen en el centro del canal, sería necesario un límite de frecuencia de video de 2.5 Mhz aproximadamente. Esto representaría una seria pérdida de detalle horizontal, ya que las componentes de alta frecuencia de la modulación de video determinan la magnitud de detalle horizontal en la imagen.

Podría parecer conveniente situar la portadora de imagen en el extremo inferior del canal y utilizar la transmisión en banda lateral única, lo que permitiría el uso de frecuencias de modulación de video más altas de 5 Mhz y más detalle horizontal, pero esto no es practicable. La eliminación de las frecuencias portadoras laterales indeseables se realiza mediante un circuito de filtro en el transmisor, que no puede tener características ideales de corte. Por consiguiente, no sería posible eliminar las portadoras laterales situadas cerca de la frecuencia portadora sin introducir una distorsión de fase recusable para las frecuencias de señal de video más bajas, lo que emborronaría la imagen. Las frecuencias de video bajas contienen la información más importante de la imagen.

La transmisión de banda lateral residual que se adopta en la práctica como solución de compromiso proporciona la eliminación completa de la banda lateral inferior solamente donde las frecuencias de banda lateral deben ser eliminadas de la portadora de imagen para evitar la distorsión de fase. La propia portadora de imagen y todas las frecuencias laterales próximas a la portadora no son atenuadas. El resultado a que esto conduce es la transmisión de doble banda lateral para las frecuencias de video inferiores correspondientes al cuerpo principal de la información de imagen en zonas grandes de ésta, mientras la transmisión de banda lateral única solo se utiliza para las frecuencias de video más alta que representan detalles de los bordes o contornos de la imagen.

Obsérvese que la transmisión de banda lateral vestigial distorsiona la señal de imagen en función de la amplitud relativa para las diferentes frecuencias. Recuérdese que la señal transmitida con solo banda lateral única y la portadora representa una modulación de 50% en comparación con la señal de doble banda lateral y modulación al 100%. Por consiguiente, las frecuencias de video más altas proporcionan las señales con la mitad de la modulación de portadora real comparadas con las frecuencias de video más bajas que son transmitidas con ambas bandas laterales. Esta significa realmente el refuerzo en baja frecuencia de la señal de video, lo que se

corrige desatenuando las frecuencias de video bajas en el mismo grado que en el amplificador r.f. del receptor de televisión.

2.8 LA IMAGEN DE TELEVISIÓN

2.8.1 ELEMENTOS DE IMAGEN.

Una imagen fija es fundamentalmente una ordenación de muchas áreas pequeñas oscuras y luminosas. Cada área pequeña de luz o sombra es un *elemento de imagen o un detalle de imagen*.

Todos los elementos contienen la información visual de escena. Si son transmitidos y reproducidos con el mismo grado de luz o sombra que el original y en la posición correcta, se reproducirá la imagen.

2.8.2 PROPIEDADES DE LA IMAGEN.

Suponiendo que esté sincronizada para que permanezca inmóvil, la imagen reproducida debe tener también alto brillo, fuerte contraste y detalle agudo, y las proporciones correctas de altura y anchura. Estos requisitos son aplicables tanto en blanco y negro como en color. Además, la imagen en

color debe tener color intenso o saturación, con los tintes o matices correctos.

2.8.2.1 BRILLO (LUMINOSIDAD).

Es la intensidad global o media de iluminación, la cual determina el nivel de fondo en la imagen reproducida. Los elementos individuales de imagen pueden entonces variar en más y en menos con respecto a este nivel medio de brillo.

2.8.2.2 CONTRASTE.

El contraste significa diferencia de intensidad entre las partes negras y blancas de la imagen reproducida, a diferencia del brillo, que significa intensidad media. El margen de contraste debe ser suficiente para producir una imagen fuerte, con blanco brillante y negro oscuro para obtener los valores extremos de intensidad. La cantidad de señal de video de c.a. determina el contraste de la imagen reproducida. La amplitud de la señal de c.a. es lo que determina la intensidad del blanco en comparación con las partes negras de la señal.

2.8.2.3 DETALLE.

La propiedad o calidad de detalle que también se llama *resolución o definición* depende del número de elementos de imagen que pueden ser reproducidos. Con muchos pequeños elementos de imagen, se evidencian los detalles finos de ésta.

Por consiguiente, deben ser reproducidos tantos elementos de imagen como sea posible para que la definición de la imagen sea buena.

Esta técnica hace que la imagen sea bien perceptible y clara. Pueden verse pequeños detalles si los objetos de la imagen aparecen agudamente definidos o contorneados. Una buena definición dará también una profundidad aparente en la imagen haciendo visible los detalles del fondo. Esta calidad mejorada de una imagen con más detalles se puede apreciar en la figura 2.5 que muestra como un mayor número de elementos de imagen aumenta la definición.

En el sistema de televisión comercial de Estados Unidos, la imagen reproducida en la pantalla está limitada a un máximo de 150 000 elementos de imagen, aproximadamente, contando todos los detalles horizontal y verticalmente.

Esta definición proporciona casi el mismo detalle que una película cinematográfica de 16mm. Este máximo se aplica a cualquier tamaño de imagen, desde una pequeña imagen de 10.1 x 7.6 cm (4 x 3") a una imagen proyectada de 6.09 x 4.57 m (20 x 15 pies).

La razón es que en una imagen de televisión, la máxima definición depende del número de líneas exploradas y del ancho de banda del canal de transmisión. Vea figura 2.6.

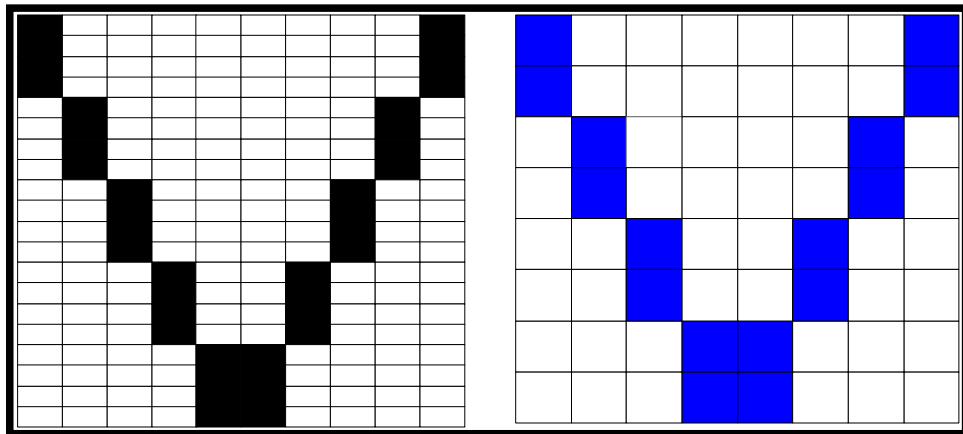


Figura 2.5: EFECTO DEL NUMERO DE ELEMENTOS DE IMAGEN SOBRE LA RESOLUCIÓN

2.8.2.4 NIVEL DE COLOR.

Realmente la información de color está superpuesta a una imagen monocromática. La cantidad de color añadido depende de la amplitud de la

señal de crominancia de 3.58 Mhz. Esta cantidad de color o nivel color, se varía controlando la ganancia de la señal C.

2.8.2.5 MATIZ.

Lo que generalmente se denomina color de un objeto es más concretamente su matiz o *tinte*. Por ejemplo, la hierba tiene un matiz verde. En una imagen de televisión en color, el matiz, o tinte, depende del ángulo de fase de la señal de crominancia de 3.58 Mhz.

Esta fase con respecto a la señal de sincronismo de color se varía por el control de matiz o tinte. Se puede ajustar este control para obtener el matiz correcto de cualquier color conocido de escena, tal como la luz del cielo, verde de hierba o tonos de tez rosados. Entonces todos los demás matices resultan correctos, ya que el sincronismo de color mantiene los matices en su fase correcta.

2.8.2.6 RELACIÓN DE ASPECTO.

Es la relación entre la anchura (w) y la altura (h) del cuadro de imagen. Esta relación de aspecto estandarizada en los Estados Unidos está dada por el valor de

$\frac{w}{h} = \frac{4}{3}$, la cual hace que la anchura de la imagen sea igual a la altura

multiplicada por 1.33. se utiliza la misma relación de aspecto aproximadamente para los cuadros de la película cinematográfica convencional. El que la anchura del cuadro sea mayor que su altura permite reproducir el movimiento de escena, que ordinariamente tiene dirección horizontal.

Solamente se ajustan las proporciones por la relación de aspecto. El cuadro real puede tener cualquier tamaño desde algunas pulgadas cuadradas hasta 20 x 15 pies (6 x 4.5 m) cuando se mantiene la relación de aspecto 4:3. si el tubo de imagen no reproduce la imagen con esta proporción de anchura – altura, las personas aparecen demasiado delgadas o gruesas en la escena.

La pantalla rectangular del tubo de imagen tiene las proporciones de 4:3, aproximadamente, de anchura a altura. Por consiguiente, cuando la amplitud de exploración o barrido horizontal llena la anchura de la pantalla y el barrido vertical llena la altura, la imagen reproducida tiene la relación de aspecto correcta.

2.8.2.7 DISTANCIA DE VISIÓN.

Aproximándonos a la pantalla vemos todos los detalles, pero entonces son visibles las líneas de exploración o barrido individuales. También podemos ver el grano fino de la reproducción de la imagen. En televisión, el grano fino consiste en pequeñas manchas blancas, llamadas *nieve*, producidas por el ruido en la señal de televisión. La mejor distancia de visión es, pues, un compromiso de aproximadamente de 4 a 8 veces la altura de la imagen.

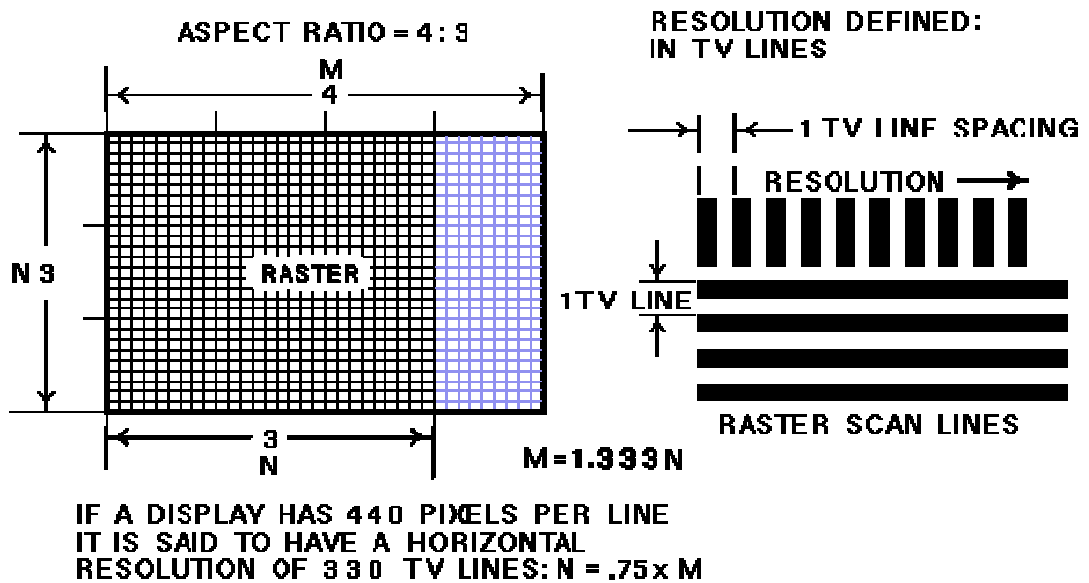


Figura 2.6: a) RELACIÓN DE ASPECTO.

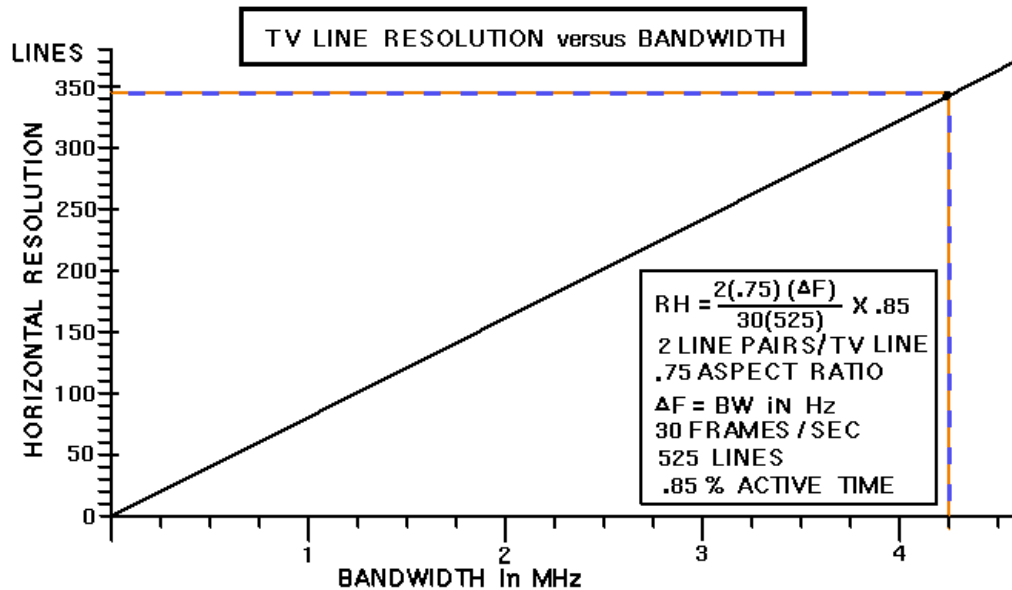


Figura 2.6 (continuación): b) RESOLUCIÓN VERSUS ANCHO DE BANDA.

2.9 EXPLORACION Y SINCRONIZACION

La imagen de televisión es explorada secuencialmente en una serie de líneas horizontales, una debajo de otra, como lo muestra la figura 2.7. esta exploración hace posible que una señal de video incluya todos los elementos necesarios para la imagen completa. Para obtener una señal de video que transmita todas las variaciones de luz y sombra, se exploran todos los detalles en un orden secuencial de tiempo.

La exploración hace que una imagen sea reensamblada una tras otra un cuadro sobre otro. La exploración se efectúa de la misma manera que la lectura, para cubrir todas las palabras de una línea y todas las líneas de la página.

Empezando en la parte superior izquierda en la figura 2.7, todos los elementos de imagen son explorados en orden sucesivo, de izquierda a derecha y de arriba abajo, línea por línea. Este método se llama *exploración lineal horizontal*, se usa en el tubo de la cámara de la estación para dividir la imagen en elementos y en el tubo de imagen para reensamblar la imagen reproducida.

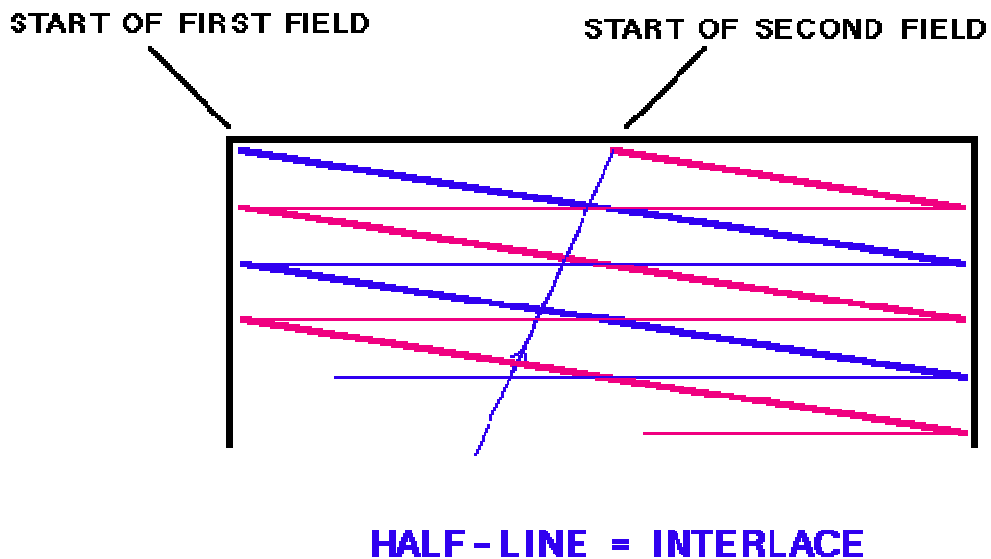


Figura 2.7: EXPLORACIÓN LINEAL HORIZONTAL

La secuencia para explorar todos los elementos de imagen es la siguiente:

- El haz electrónico barre transversalmente una línea horizontal, cubriendo todos los elementos de imagen de la línea.
- Al final de cada línea, el haz vuelve muy rápidamente al lado de la izquierda para comenzar la exploración de la siguiente línea horizontal. El tiempo de retorno es lo que se llama *retraza o retorno*. Durante el retorno no es explorada ninguna información de imagen a causa de que el tubo de cámara y el tubo de imagen están inhibidos durante este período. Por consiguiente, los retornos deben ser muy rápidos ya que son tiempos no útiles o desperdiciados en lo que afecta a la información de imagen.
- Cuando el haz ha retornado al lado de la izquierda, se sitúa en una posición vertical más baja a fin de que explore la línea inmediata inferior y no se repita la exploración de la misma línea. Esto se consigue por el movimiento de exploración vertical del haz, el cual está provisto además de la exploración horizontal.

El procedimiento de exploración que ha sido adoptado universalmente emplea exploración lineal horizontal en una característica entrelazada de

líneas impares. Las especificaciones de la FCC para la exploración de las emisiones de televisión en Estados Unidos dan una característica estándar de exploración que incluye un total de 525 líneas de exploración horizontal en un cuadro rectangular que tiene una relación de aspecto de 4:3. Los cuadros se repiten a velocidad de 30 por segundo con dos campos entrelazados en cada cuadro.

En la figura 2.8 se ilustra el formato de exploración del entrelazado de líneas impares estándar. En realidad el haz se dirige al centro, que es donde comienza la exploración, pero por conveniencia empezamos el movimiento desde la esquina superior izquierda del cuadro o trama, en el punto A. Para esta línea 1, el haz barre transversalmente el cuadro con velocidad uniforme para cubrir todos los elementos de imagen en una línea horizontal. Al final de esta traza el haz retorna rápidamente al lado izquierdo del cuadro, como se muestra por la línea discontinua, para iniciar la siguiente línea horizontal. Observe que las líneas horizontales se desvían oblicuamente hacia abajo en la dirección de exploración debido a la deflexión vertical producida simultáneamente, aunque es muy lento en comparación con la exploración horizontal. Observe también que la pendiente de la traza horizontal desde la izquierda a la derecha es mayor que durante el retorno de derecha a izquierda. La razón es que el retorno es más rápido para impedir que el haz se desvíe tanto tiempo durante el retorno.

Después de la línea 1, el haz está dispuesto para explorar la línea 3, omitiendo la segunda línea. Este salto se realiza por la duplicación de la frecuencia de exploración vertical desde la velocidad de cuadro de 30 hasta la frecuencia de campo de 60 Hz. La deflexión del haz verticalmente a doble velocidad que la necesaria para explorar 525 líneas produce un período completo de exploración vertical para 262.5 líneas solamente, quedando líneas alternadas sin explorar. El haz electrónico explora todas las líneas impares hasta llegar finalmente a la parte inferior del cuadro en el punto B.

En el instante B comienza el retorno vertical a causa del retroceso de la señal de desviación vertical en *diente de sierra*. El haz vuelve a la parte superior del cuadro para comenzar la exploración del segundo campo, el par. Como se ve en la figura 2.8, el haz se mueve desde el punto B hasta el punto C, cruzando cierto número de líneas horizontales. En este tiempo de retorno vertical es suficientemente largo para que el haz explore varias líneas horizontales. Llamamos a éstas, *líneas de retorno vertical*, entendiendo que son las líneas horizontales completas exploradas durante el retorno vertical. Observe que las líneas de retorno vertical están inclinadas hacia arriba porque el haz está subiendo mientras las explora horizontalmente.

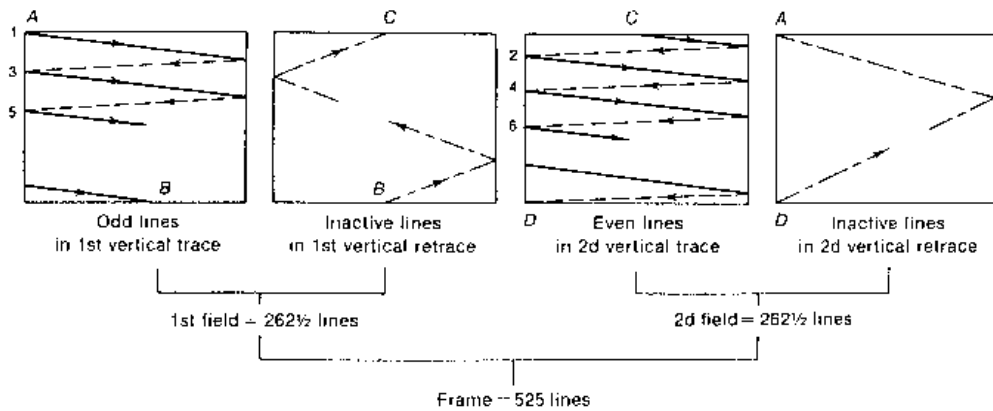


Figura 2.8: PROCEDIMIENTO DE EXPLORACIÓN DE LÍNEAS IMPARES ENTRELAZADAS.

La pendiente hacia arriba de las líneas de retorno vertical es mayor que la pendiente hacia abajo de las líneas exploradas durante la traza vertical, a causa de que el retorno ascendente es más rápido que la traza descendente. Las líneas exploradas durante el retorno vertical no son visibles a causa de que el haz electrónico queda suprimido por la tensión de borrado durante el tiempo de retorno vertical.

La exploración del segundo campo empieza cuando el haz está en el punto C de la figura 2.8. Este punto está en el centro de una línea horizontal a causa de que el primer campo contiene 262 líneas más media línea, después de explorar la media línea, el haz explora la línea 2 en el segundo campo. Luego explora el espacio comprendido entre las líneas impares para producir las

líneas pares que fueron omitidas anteriormente. El movimiento en la exploración vertical es el mismo que en el campo predecesor, dando a todas las líneas horizontales la misma pendiente descendente en el sentido de la exploración. En consecuencia, todas las líneas pares del segundo campo son exploradas hacia abajo hasta el punto D. Los punto D y B están separados media línea entre sí a causa de que el segundo campo ha empezado con media línea.

El retorno vertical en el segundo campo comienza en el punto D de la figura 2.8, y desde aquí lleva al haz hasta la parte superior. Con un número entero de líneas de retorno vertical, el haz termina el segundo retorno vertical en A. Siempre terminará allí donde ha empezado la primera traza a causa de que el número de líneas de retorno vertical es el mismo en ambos campos. En el punto A, el haz explorador ha completado precisamente dos campos o sea un cuadro y está lista para empezar un tercer campo en que se repiten las características de exploración.

Todos los campos impares empiezan en el punto A y son los mismos. Todos los campos pares empiezan en el punto C y también son los mismos. Puesto que el comienzo de campo impar empieza en C, se efectúa en el mismo nivel horizontal de A con una separación de media línea, y la pendiente de todas las líneas es la misma, las líneas pares de los campos pares entre las líneas

impares del campo impar. La condición esencial para este entrelazado de líneas impares es que los puntos iniciales de la parte superior del cuadro estén separado media línea entre los campos pares e impares. En la figura 2.9, se ilustra una característica completa de exploración con las formas de onda en diente de sierra vertical y horizontal, como por ejemplo de entrelazado de líneas impares.

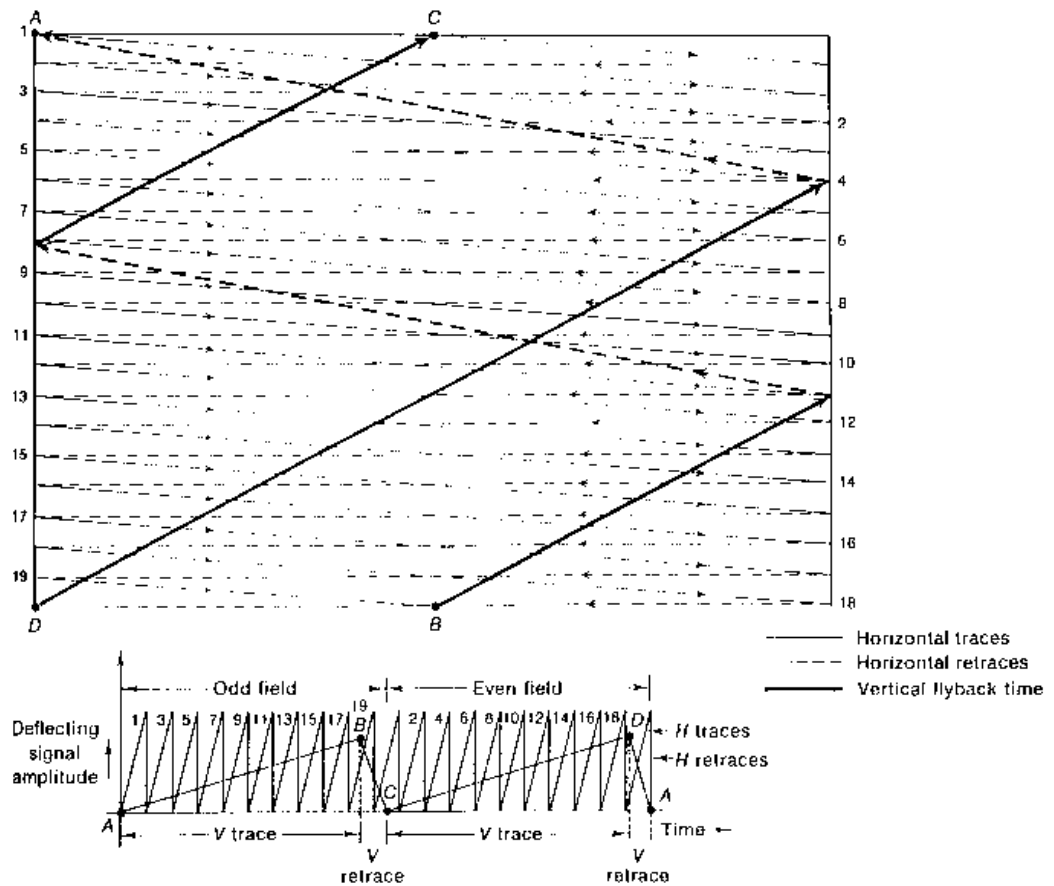


Figura 2.9: MUESTRA DE EXPLORACIÓN PARA 21 LÍNEAS ENTRELAZADAS CON LAS FORMAS DE ONDA DIENTE DE SIERRA CORRESPONDIENTES.

2.9.1 LÍNEA POR CUADRO.

El número de líneas de exploración de una imagen completa debe ser grande con el fin de que incluya el mayor número posible de elementos de imagen y, por consiguiente, más detalles. Sin embargo, otros factores limitan la elección, y ha sido estandarizado en un total de 525 líneas de exploración para una imagen completa o cuadro. Este número es el óptimo de líneas de exploración por cuadro o trama para el ancho de banda normal de 6 Mhz de los canales de difusión de televisión.

2.9.2 CUADROS POR SEGUNDO.

El haz se mueve lentamente hacia abajo al mismo tiempo que efectúa horizontalmente la exploración. Este movimiento vertical en la exploración es necesario para que no sean exploradas las líneas unas sobre otras. La exploración horizontal produce las líneas de izquierda a derecha, mientras que la exploración vertical esparce las líneas a fin de llenar la trama o cuadro entre las partes superior e inferior.

La exploración vertical se realiza al ritmo de 30 Hz para la frecuencia de trama de 30 cuadros por segundo. Este valor es exactamente la mitad de la

frecuencia de línea de distribución de energía de c.a. de 60 Hz. La velocidad de cuadro de 30 por segundo significa que son exploradas 525 líneas, correspondientes a un cuadro completo, en 1/30 seg.

2.9.3 FRECUENCIAS DE CUADRO Y DE CAMPO.

En televisión se utiliza un proceso similar al usado en cinematografía para reproducir el movimiento de una escena. No solo queda descompuesta cada imagen en muchos elementos individuales, sino que la escena es explorada con la rapidez necesaria para proveer el número suficiente de imágenes completas o cuadros por segundo y producir la ilusión de movimiento. En lugar de los 24 cuadros por segundo de la práctica comercial en cine, la velocidad de repetición de los cuadros es 30 por segundo en el sistema de televisión.

Sin embargo, la velocidad de repetición de imágenes de 30 por segunda no es suficientemente rápida para resolver el problema de parpadeo con los altos niveles de iluminación que se presenta en la pantalla del tubo de imagen. La solución es análoga a la de la práctica cinematográfica. Cada cuadro se divide en dos partes, de modo que se presentan 60 vistas de la escena durante cada segundo. Pero la división del cuadro en dos partes no

se puede efectuar por el método sencillo del obturador utilizado en cinematografía, a causa de que la imagen es reproducida por elementos individuales en cada instante en los sistemas de televisión. En su lugar, se obtiene el mismo efecto entrelazando las líneas de exploración horizontal en dos grupos, uno el de las líneas de número impar y el otro de las líneas de número par. A cada grupo de líneas pares o a uno de las líneas impares se le llama *campo*.

La velocidad de repetición de los campos es 60 por segundo, ya que durante un período de cuadro de $1/30$ segundos son explorados dos campos. De esta manera aparecen 60 vistas de la imagen durante un segundo. Esta velocidad de repetición es suficientemente rápida para eliminar el parpadeo. En televisión se elige la velocidad de repetición del campo de 30, en vez de la de 24 de la cinematografía comercial, a causa de que en estados Unidos la frecuencia de las líneas de distribución de energía c.a. en la mayoría de las viviendas es de 60 Hz. Con una velocidad de cuadro de 30 por segundo la velocidad del campo es exactamente igual a la frecuencia de la línea de 60 Hz. En los países en que la frecuencia de la línea es de 50 Hz, la velocidad de cuadro es 25 hz. y por consiguiente la frecuencia de campo es 50 Hz.

2.9.4 FRECUENCIAS DE BARRIDO HORIZONTAL Y VERTICAL.

La velocidad de campo de 60 Hz, es la frecuencia de barrido o exploración vertical. Este es el ritmo con que el haz electrónico completa su ciclo de movimiento vertical, desde la parte superior hasta la parte inferior de la pantalla y vuelve nuevamente a la parte superior, quedando listo para comenzar el siguiente barrido vertical. Por consiguiente, los circuitos de deflexión vertical para el tubo de cámara o para el tubo de imagen funcionan a 60 Hz. El tiempo, de cada ciclo de exploración vertical de un campo es $1/60$ seg.

El número de líneas de barrido horizontal de un campo es la mitad del total de 525 líneas de un cuadro completo, ya que un campo contiene la mitad de líneas. Esto da por resultado 262.5 líneas horizontales para cada campo vertical. Como el tiempo que corresponde a un campo es $1/60$ seg. y cada campo contiene 262.5 líneas, el número de líneas por segundo es $262.5 \times 60 = 15750$.

Ahora bien, considerando que hay 525 líneas en dos campos sucesivos, que constituyen un cuadro, podemos multiplicar por 525 la velocidad del cuadro de 30, y esto nos da 15750 líneas exploradas en un segundo. Esta frecuencia de 15750 hz. es la velocidad que el haz electrónico completa su

ciclo de movimiento horizontal, de izquierda a derecha y vuelve a la izquierda nuevamente, listo para comenzar el barrido horizontal siguiente.

El tiempo durante el cual se realiza el barrido horizontal de una línea es 1/15750 segundos, es decir:

$$1 H = \frac{1.000.000}{15.750} \mu s = 63.5 \mu s (\text{aprox.})$$

Este tiempo en microsegundos indica que la señal de video de los elementos de imagen puede ser del orden de megahercios. Si hubiese más líneas, el tiempo de barrido sería más corto y resultarían frecuencias de video más altas. Realmente, en el sistema de 525 líneas, las frecuencias de video más altas están limitadas aproximadamente a 4 Mhz a causa de la restricción de 6 hz. para los canales de difusión de la televisión comercial en Estados Unidos.

2.10 LA SEÑAL DE VIDEO COMPUESTA

La señal de video compuesta incluye señales de *luminancia*, pulsos de *sincronismo horizontal y vertical* y *pulsos de blanqueo* o borrado. La figura 2.10 muestra la señal de video compuesta para una línea de exploración horizontal sencilla, 1H (63.5 us).

El rango de brillantez para la radiodifusión de televisión estándar es 160 unidades IRE de pico a pico, que por lo general son normalizadas a 1 Vp-p. Y el valor relativo de una señal de video en unidades IRE⁶ determina su brillantez. Por ejemplo la máxima brillantez (blanco puro) es 120 IRE y para señales menores al nivel negro de referencia (7.5 IRE) no se genera brillantez alguna.

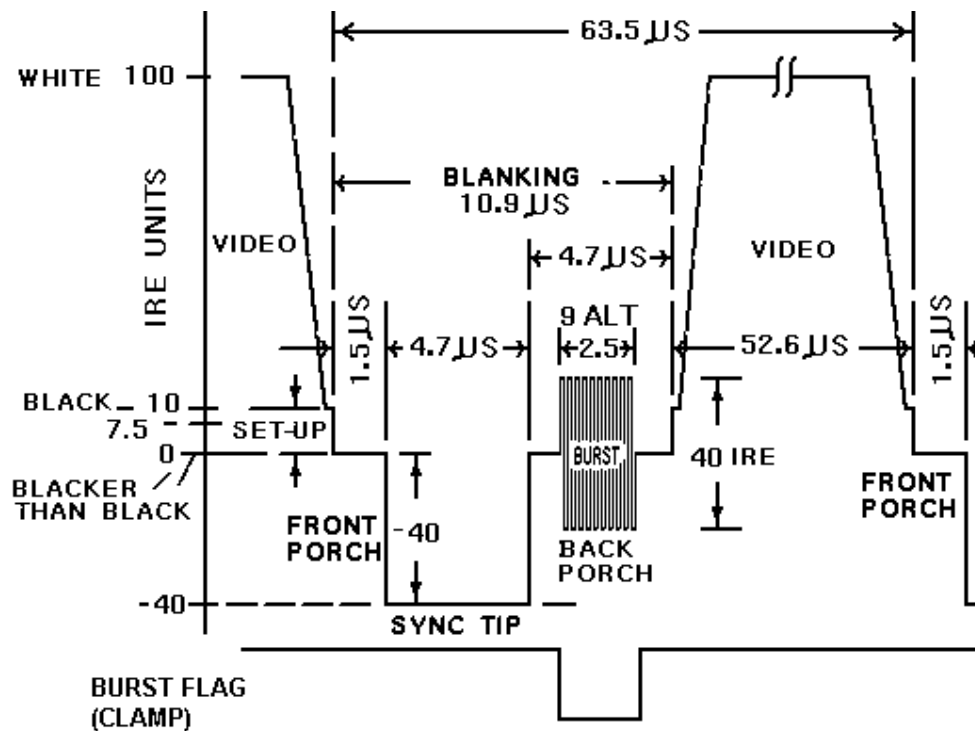


Figura 2.10: SEÑAL DE VIDEO COMPUESTA.

⁶ De la siglas Institute of Radio Engineers, escala adoptada para la medición del video en monitores de estudio.

El nivel de blanqueo es 0 IRE, lo cual está abajo del nivel del negro, es decir, más negro que negro. Los pulsos sincronizados son pulsos negativos que ocupan 25% del total de la escala IRE. Un pulso sincronizado tiene un máximo de 0 IRE y un mínimo de -40 IRE. En consecuencia todo pulso sincronizador está por debajo del nivel negro y por tanto no genera brillantez. El rango de brillantez ocupa un 75% del total de la escala IRE y se extiende de 0 a 120 unidades IRE, con 120 unidades que corresponden al 100% de la modulación AM de la portadora RF.

Sin embargo para asegurar que no se genere sobre modulación, la FCC ha establecido el nivel máximo de brillantez (blanco puro) en 87.5% o 100 IRE ($0.875 \times 160 = 140$ unidades, $-40 + 140 = 100$ unidades).

2.10.1 PULSOS DE SINCRONIZACIONES HORIZONTAL Y VERTICAL.

El tiempo de barrido corresponde a la distancia en la imagen. Cuando el haz electrónico del tubo de la cámara explora la imagen, el haz barre los diferentes elementos de imagen y provee la correspondiente información de imagen. Por consiguiente, cuando el haz electrónico explora la pantalla del tubo de imagen en el receptor, el barrido debe estar exactamente

temporizado para que ensamble la información de imagen en la posición correcta.

Para que correspondan exactamente la exploración del transmisor y del receptor, deben ser transmitidas con la información de imagen señales sincronizadoras especiales. Estas señales temporizadoras son impulsos rectangulares utilizados para controlar la exploración en el transmisor y en el receptor respectivamente.

Los impulsos sincronizadores son transmitidos como parte de la señal de imagen completa para el receptor, pero ocurren durante el tiempo de borrado cuando no se transmite información de imagen. La imagen queda oscurecida durante este período mientras retrocede el haz electrónico. Un pulso sincronizador horizontal al final de cada línea horizontal inicia el tiempo de retorno horizontal, y un pulso sincronizador vertical al final de cada campo inicia el tiempo de retorno vertical. En consecuencia, la exploración en el receptor y en el transmisor queda sincronizadas.

2.10.2 PULSOS DE BORRADOS HORIZONTAL Y VERTICAL.

Los pulsos de borrado o blanqueo, blanking, son señales de video que se agregan a la luminancia y a los pulsos de sincronización con la amplitud correcta para asegurar que en el receptor, el haz sea apagado durante los

tiempos de retraso verticales y horizontales. La imagen no se explorará por la cámara durante el retraso y por tanto ninguna información de luminancia será transmitida para esos tiempos. Los pulsos de blanqueo son en esencia señales de video con amplitudes que no producen ninguna luminancia (brillantez) en el CRT⁷. Los pulsos sincronizados horizontal y vertical tienen lugar durante sus tiempos de blanqueo respectivamente.

El tiempo total de blanqueo para una línea de exploración horizontal sencilla es aproximadamente de $0.16H$. en consecuencia, el tiempo activo (visible) para una línea horizontal es $0.84H$. En la figura 2.11, muestra que el pulso horizontal sincronizado no ocupa el tiempo de blanqueo total. El ancho del pulso de sincronía horizontal es de $0.08H$. El tiempo entre el comienzo del tiempo de blanqueo y el borde delantero del pulso horizontal sincronizado se llama *entrada frontal o front porch* y es aproximadamente $0.02H$. El tiempo entre el borde atrasado del pulso horizontal sincronizado y el final del tiempo de blanqueo se llama *entrada trasera o back porch* y es de $0.06H$.

La figura 2.12, muestra los pulsos de blanqueo vertical y todo el pulso de blanqueo está abajo del nivel de referencia (debajo de 7.5 IRE). Cada pulso de blanqueo empieza con 6 pulsos ecualizadores, un pulso de sincronización vertical y 6 pulsos ecualizadores más. Los pulsos ecualizadores aseguran

⁷ CRT, del inglés Cathode Ray Tube, Tubo de Rayos Catódicos en español.

una transición suave y más sincronizadas entre los campos pares e impares. El rango de un pulso ecualizador es de 31.5 Khz., lo cual es el doble del rango de la exploración horizontal. Por consiguiente cada pulso ecualizador ocupa $\frac{1}{2}$ H, y los 12 pulsos ocupan un tiempo total de 6H. El pulso sincronizado vertical ocupa el tiempo de 3H.

Los dientes de sierra en el pulso sincronizado vertical aseguran que el receptor mantenga una sincronización horizontal durante el tiempo de retraso vertical. Se necesita un tiempo total de nueve líneas de exploración horizontal 9H para transmitir los pulsos sincronizados ecualizadores y verticales. El tiempo de blanqueo vertical exacto se determina por la estación transmisora; sin embargo, por lo general es 21H. Las líneas horizontales de 10 a 21 de cada campo se utilizan a menudo para enviar señales de estudio y señales de color automático y brillantez.

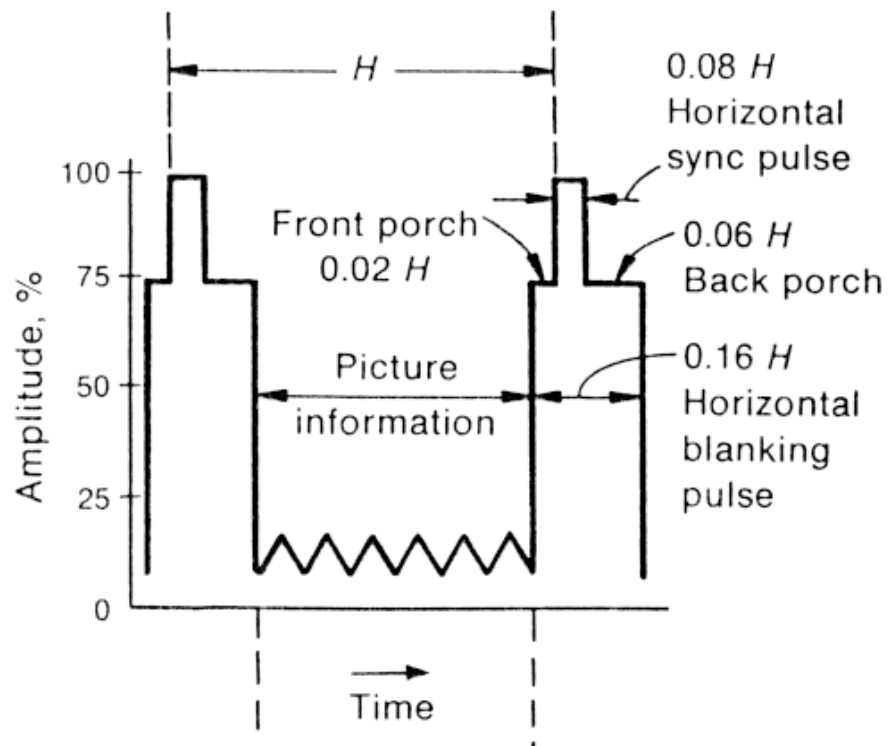


Figura 2.11: PULSO DE SINCRONISMO Y BORRADO HORIZONTAL.

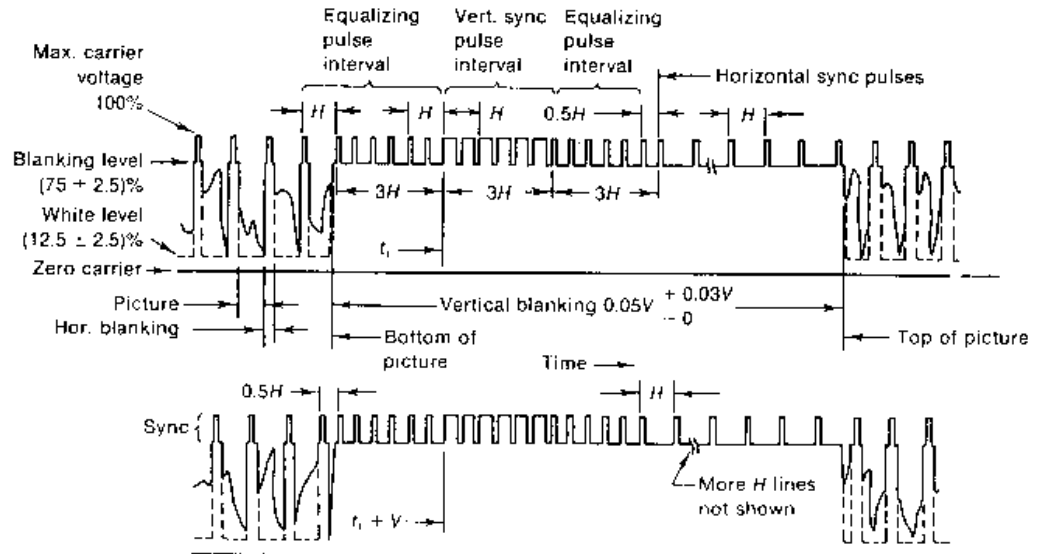


Figura 2.12: PULSOS DE SINCRONISMOS Y BLANQUEO VERTICALES Y HORIZONTALES

2.11 TRANSMISION DE TELEVISION A COLOR.

En esencia, un transmisor de televisión a color es idéntico al transmisor monocromático que se muestra en la figura 2.3, excepto que se utiliza una cámara de color para generar la señal de video. Con estas emisiones a color, todos los colores se generan mezclando diferentes cantidades de tres *colores primarios*: rojo, azul, verde. Una cámara de color es en realidad tres

cámaras en una, cada una con salidas de señales de video separadas. Cuando se explora una imagen, se utilizan tubos de cámara independientes para cada uno de los colores primarios. La cámara roja produce la señal de video R, la cámara verde genera la señal de video G y la cámara azul la señal B. Las señales R, G y B se combinan en un codificador para generar la señal de color compuesta, la cual, cuando se combina con la señal de luminancia, modula en amplitud la portadora de RF.

2.11.1 CODIFICACIÓN DE COLOR.

La figura 2.13 muestra un gráfico en bloques simplificado para un transmisor de televisión a color. Las señales R, G y B se combinan en proporciones específicas en la *matriz de color* a fin de generar la brillantez (luminancia) y señal de video Y y las señales de video cromáticas (color) I y Q. La señal de luminancia corresponde a una señal de video monocromática. Las señales I y Q modulan en amplitud una subportadora de color de 3.58 Mhz para producir la señal de color total C. La señal I modula la subportadora directamente en el modulador balaceado I, mientras que la señal Q modula una subportadora de cuadratura (90° fuera de fase) en el modulador balanceado Q. Las señales moduladas I y Q se combinan en forma lineal para producir una señal de modulación en amplitud de cuadratura (QAM), C, la cual es una

combinación de la modulación de amplitud y fase. La señal C se combina con la señal Y para producir la señal de video compuesta total T .

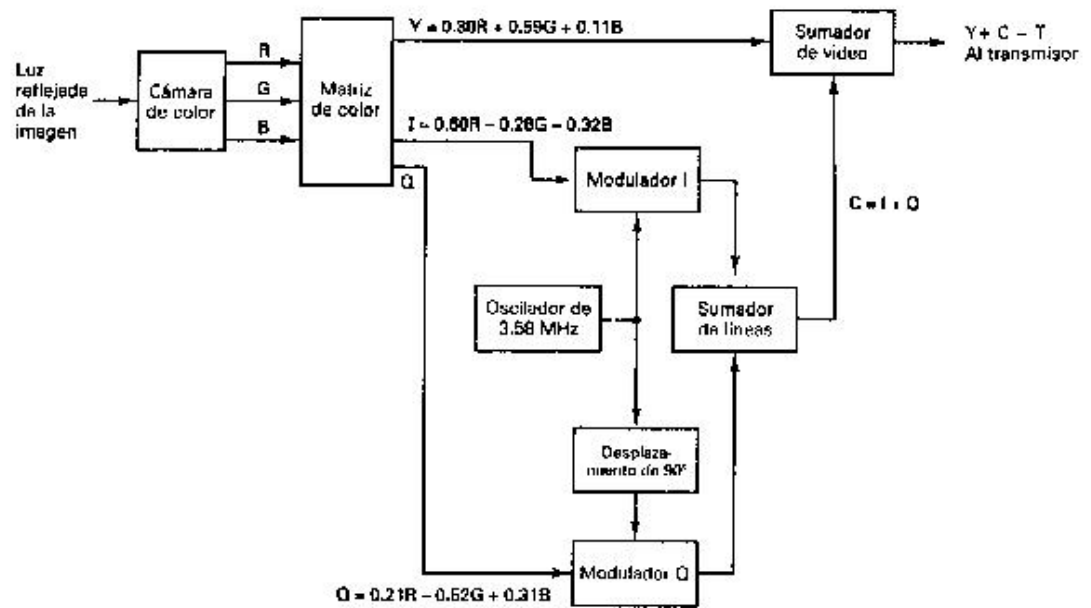


Figura 2.13: TRANSMISOR DE TELEVISIÓN A COLOR.

2.11.2 SEÑAL DE LUMINANCIA.

La señal de luminancia Y , se forma combinando 30% de la señal R , 59% de la señal G y 11% de la señal B . En términos matemáticos se la expresa como:

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B \quad (2.1)$$

Los porcentajes que se muestran en (2.1) corresponden a la brillantez relativa de los tres colores primarios. En consecuencia, una escena reproducida en blanco y negro por la señal Y tiene exactamente la misma brillantez que la imagen original. La figura 2.14 muestra como el voltaje de la señal Y se compone de varios valores de R , G , y B .

La señal Y tiene una máxima amplitud relativa de 1, la cual es 100% blanca. Para los próximos valores de R , G y B (1V cada uno), el valor de brillantez se determina a partir de la expresión (2.1) de la siguiente forma:

$$Y = 0.30(1) + 0.59(1) + 0.11(1) = 1$$

Los valores de voltaje para Y que se ilustran en la figura 2.14 son los valores de luminancia relativos que corresponde a cada color. Si solo se utiliza la señal Y para reproducir el patrón en un receptor, aparecerá en el CRT como siete barras monocromáticas sombreadas desde el blanco en la izquierda a gris en el centro y negro en la derecha. La señal Y se transmite con un ancho de banda de 0 a 4 Mhz. Sin embargo, casi todos los receptores limitan la banda de la señal Y a 3.2 Mhz a fin de minimizar la interferencia con la señal de color de 3.58 Mhz. La señal I se transmite con un ancho de banda de 1.5 Mhz, mientras que la señal Q es transmitida con un ancho de banda

de 0.5 Mhz. No obstante, casi todos los receptores limitan las señales I y Q a un ancho de banda de 0.5 Mhz.

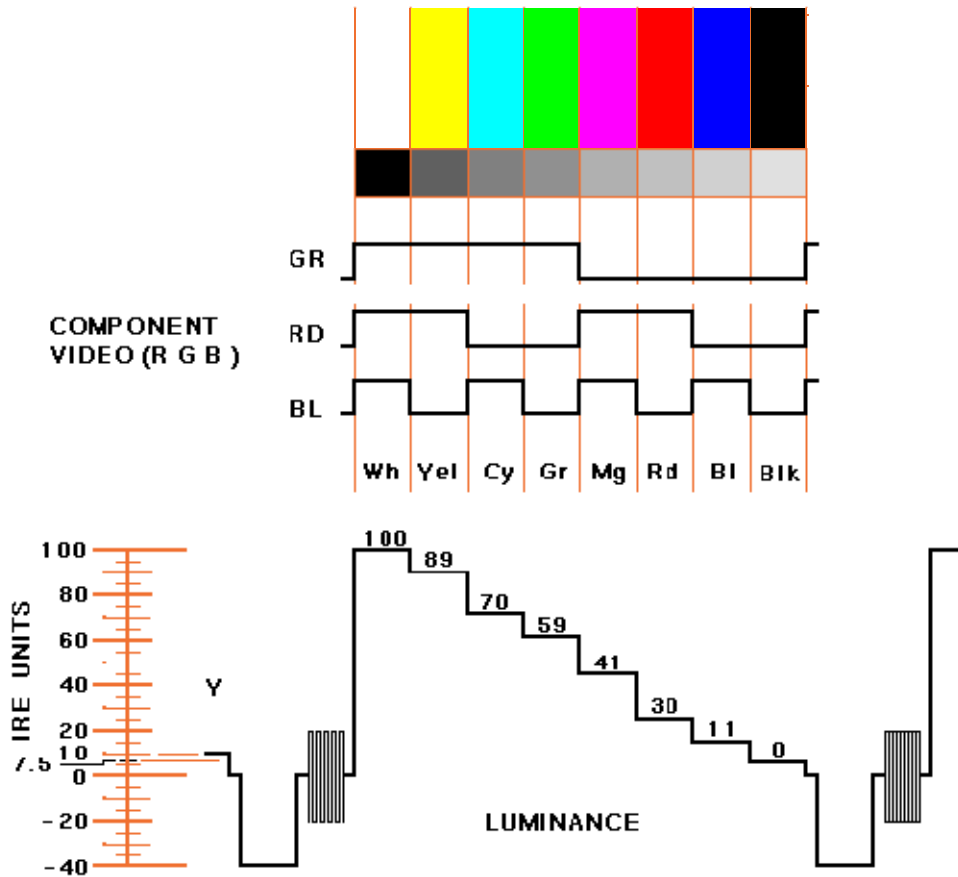


Figura 2.14: VALORES DE LUMINANCIA RELATIVAS PARA UN PATRÓN DE BARRAS DE COLOR.

2.11.3 SEÑAL DE CROMINANCIA.

La señal de crominancia o C es una combinación de las señales de color I y Q . La señal I o *señal de color en fase* se genera combinando 60% de la señal R , 28% de la señal G invertida y 32% de la señal de video B invertida. En términos matemático:

$$I = 0.60R - 0.28G - 0.32B \quad (2.2)$$

La señal Q o *señal de color en cuadratura*, se genera combinando 21% de la señal de video R , 52% de la señal G invertida y 31% de la señal de video B . Matemáticamente se expresa como:

$$Q = 0.21R - 0.52G + 0.31B \quad (2.3)$$

Las señales I y Q se combinan para producir la señal C y debido a que las señales I y Q están en cuadratura, la señal C es la suma fasorial de las dos (es decir, que la magnitud de $C = \sqrt{I^2 + Q^2}$ y la fase es $\tan^{-1}\left[\frac{Q}{I}\right]$).

Las amplitudes de las señales I y Q son, en cambio, proporcionales a las señales de video R , G y B . La figura 2.15 muestra la rueda de colores para la radio difusión de televisión a color. Las señales $R-Y$ y $B-Y$ se utilizan en la mayor parte de los receptores de televisión a color para demodular las

señales de video R, G y B. En el receptor, la señal C reproduce colores en proporción a las amplitudes de las señales I y Q.

El matiz o tono de color, se determina por la fase de la señal C y la profundidad o saturación es proporcional a la magnitud de la señal C. La parte exterior del circulo corresponde al valor relativo de 1.

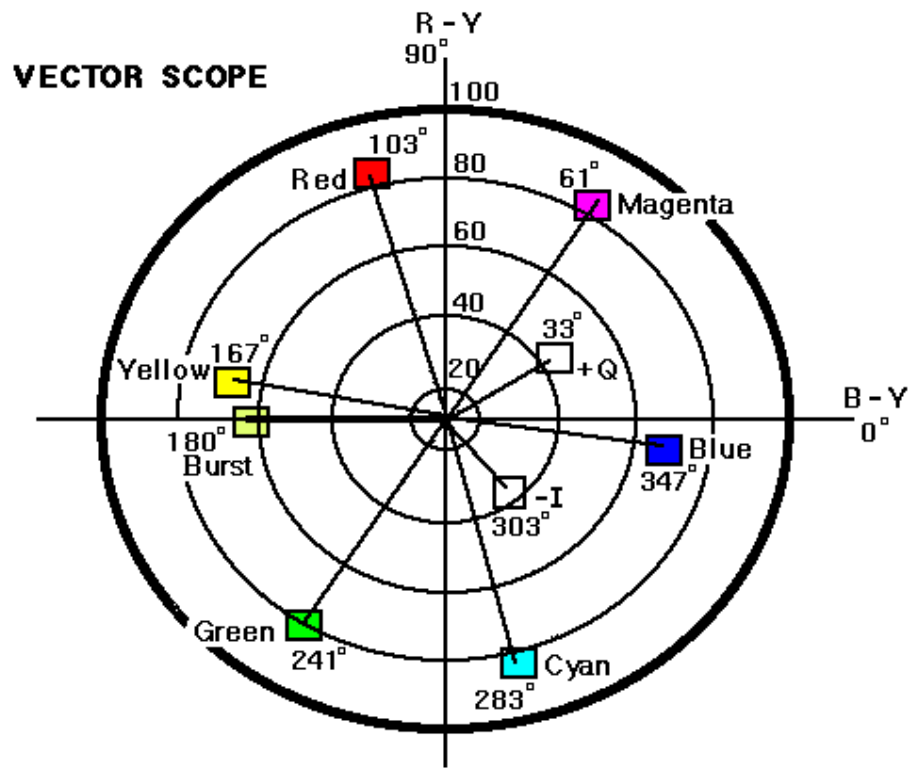


Figura 2.15: RUEDA DE COLOR DE RADIODIFUSIÓN DE TELEVISIÓN ESTÁNDAR.

2.11.4 RÁFAGA DE COLOR (COLOR BURST).

La fase de la subportadora de color de 3.58 Mhz es la fase de referencia para la desmodulación de color. Por consiguiente, la subportadora de color debe transmitirse junto con la video compuesta para que el receptor pueda reconstruir la subportadora con la frecuencia y fase de referencia adecuada y por tanto determine la fase (color) de la señal que se recibe. De ocho a once ciclos de la subportadora de color de 3.58 Mhz se insertan en la entrada trasera de cada pulso de blanqueo horizontal. A esto se le da el nombre de *ráfaga de color*. En el receptor, la ráfaga se elimina y se utiliza para sincronizar un oscilador de 3.58 Mhz local. La ráfaga de color se muestra en la figura 2.16.

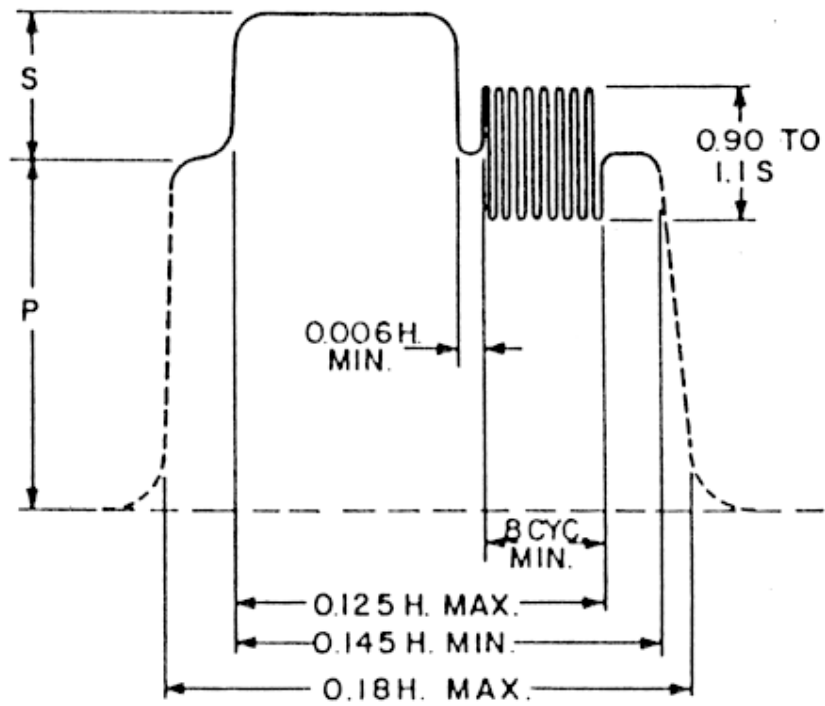


Figura 2.16: INTERVALO DE BLANQUEO HORIZONTAL Y UNA RÁFAGA DE 3.58 MHZ.

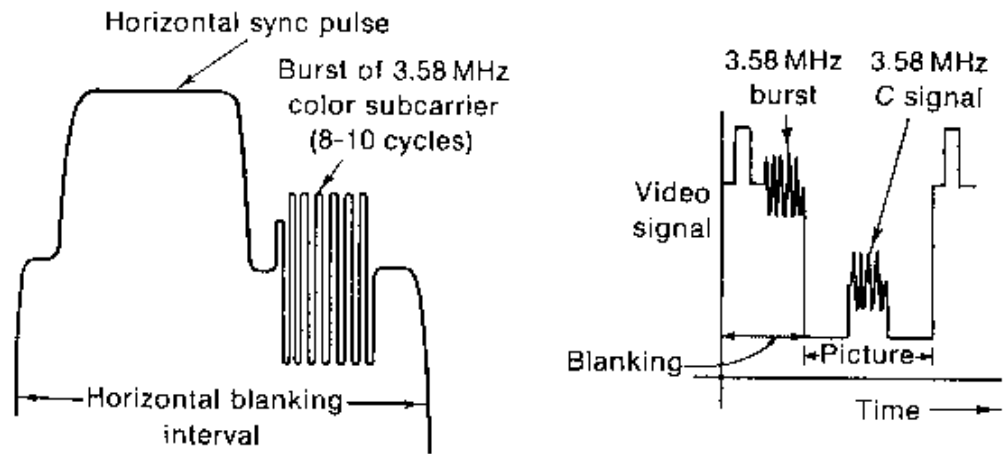


Figura 2.16: Continuación

La figura 2.17 muestra el espectro de frecuencia de RF compuesto para la difusión televisiva a color.

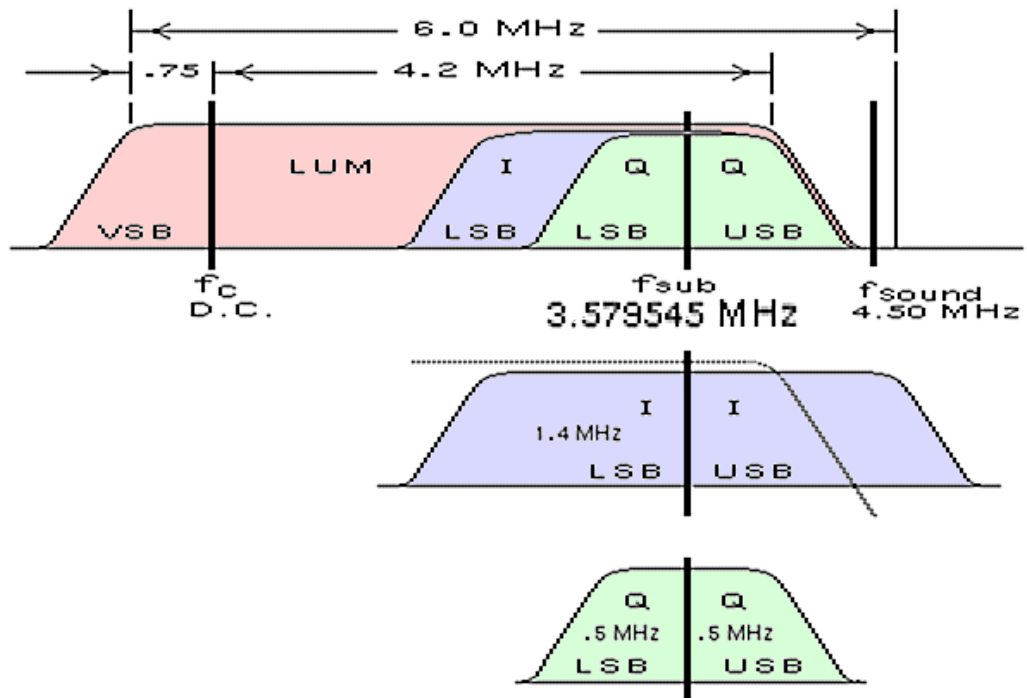


Figura 2.17: ESPECTRO DE LA FRECUENCIA DE RF COMPUESTA PARA LA RADIODIFUSIÓN DE TELEVISIÓN A COLOR.

2.11.5 FRECUENCIAS DE EXPLORACIÓN PARA LA TRANSMISIÓN A COLOR.

La frecuencia de la subportadora de color se determina por las relaciones armónicas entre la subportadora de color y las razones de exploración horizontal y vertical. El valor exacto para la subportadora de color es 3.579545 Mhz. La subportadora de sonido, 4.5 Mhz, es la 286 armónica de la

frecuencia de la línea horizontal. Por tanto, la razón de la línea horizontal f_h para la transmisión de color no es exactamente 15750 Khz. Matemáticamente f_h es:

$$f_h = \frac{4.5\text{Mhz}}{286} = 15734.26\text{Hz}$$

El valor exacto de la razón de la exploración vertical f_v es:

$$f_v = \frac{15734.26}{262.5} = 59.94\text{Hz}$$

La frecuencia de la subportadora de color C se elige como la 455 armónica de la mitad de la razón de exploración horizontal. Por consiguiente,

$$C = \frac{15734.26}{2} \times 455 = 3.579545\text{Mhz}.$$

2.11.6 INTERCALACIÓN DE FRECUENCIA.

La porción Y de la señal de video produce agrupaciones de energía en intervalos de 15734.26 Hz en el ancho de banda de video de 4 Mhz. Así genera señales de color alrededor de una subportadora de color de 3.579545 Mhz, la energía de color se agrupa entre los intervalos vacantes entre la

información de blanco y negro. Esto se llama *intercalación de frecuencia* o a veces intercalar frecuencia y es una forma de *multicanalizar* (es decir, la información de color y de blanco y negro es multicanalizada en división de frecuencia en el espectro de video total).

La figura 2.18 muestra el espectro para la intercalación de frecuencia.

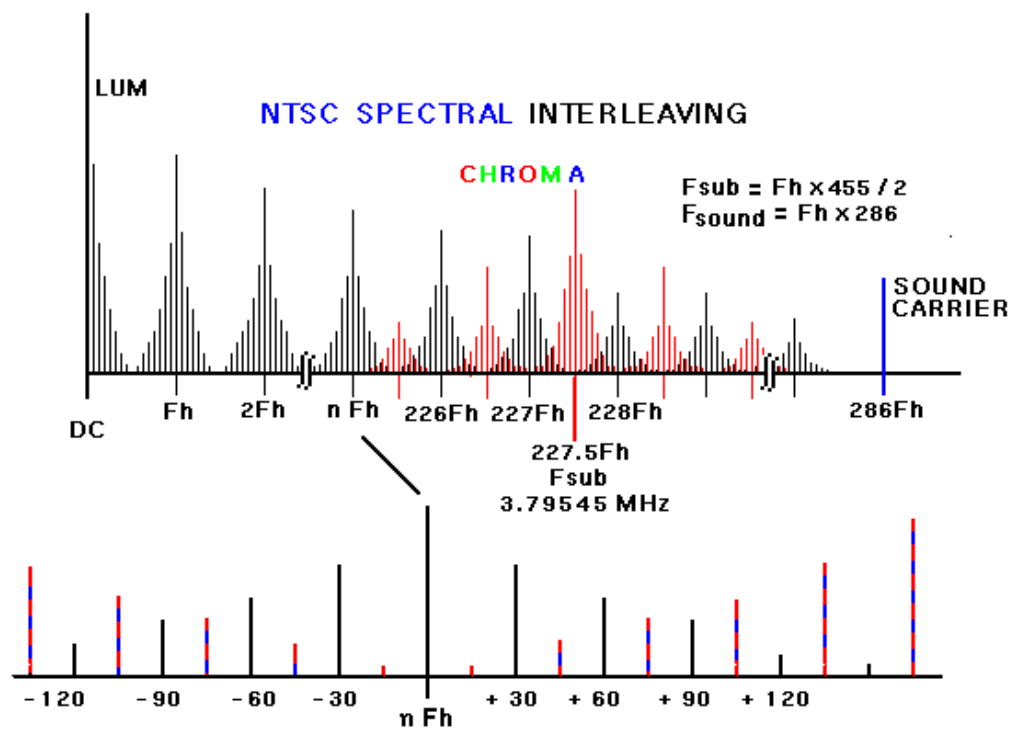


Figura 2.18: INTERCALACIÓN DE FRECUENCIA DE SEÑALES DE COLOR Y LUMINANCIA.

2.12 SISTEMAS DE TELEVISIÓN A COLOR.

En los primeros días de la televisión a color, muchos problemas tuvieron que ser resueltos antes que pudiera convertirse en realidad. Estos problemas fueron mayormente en el área de la *compatibilidad*, que es, como desarrollar un sistema que no fuera conflictivo con los estándares monocromáticos existentes, usados por mucho tiempo.

Así pues, la compatibilidad es el resultado de la transmisión de la señal Y de luminancia y el uso de las mismas normas de exploración prácticamente para color y monocromía. Esto es, que un receptor monocromático es capaz de reproducir imágenes en blanco y negro transmitidas desde una estación de televisión a color y un receptor de televisión a color, puede reproducir imágenes transmitidas desde un transmisor monocromático.

Existen en la actualidad tres estándares en el mundo para vídeo compuesto de color codificado: NTSC, PAL y SECAM.

2.12.1 NTSC (NATIONAL TELEVISION SYSTEM COMMITTEE)

Fue creado como estándar en USA en 1954. Este estándar se basa en el “National Television System Committee” de la EIA, la organización define los formatos estándares adoptados por la FCC para difusión de TV. En los

Estados Unidos. NTSC es también un estándar utilizado en Japón, Canadá, México y en otros países de América. NTSC es usualmente tomado para describir el sistema de TV, a color NTSC, o sus estándares de interconexión. NTSC corre sobre 525 líneas por segundo, la frecuencia de imagen (cuadro) por segundo es de 29.97 NTSC es también llamado “Vídeo compuesta” porque toda la información de vídeo (sincronismo, luminancia y color) son combinada en una señal analógica.

Cuando la difusión de color se convirtió en una posibilidad comercial, el estándar fue creado para permitir que las señales de TV de color sean compatibles con la TV existente de blanco y negro. La restricción de compatibilidad con la nueva tecnología resulta en un compromiso de la calidad de la imagen a color. La modulación de color es en QAM. Ancho nominal de la banda lateral principal 4.2 Mhz, Ancho nominal de la banda lateral residual es 0.75 Mhz.

SISTEMA	NTSC
LINEAS / CAMPO	525/60
FRECUENCIA HORIZONTAL	15.734 Khz
FRECUENCIA VERTICAL	60 Hz
FRECUENCIA DE SUBPORTADORA DE COLOR	3.579545 Mhz
ANCHO DE BANDA DE VIDEO	4.2 Mhz
PORTADORA DE SONIDO	4.5 Mhz

Tabla 2.6: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL NTSC

2.12.2 PAL (PHASE ALTERNATION BY LINE)

Fue implementado al comienzo de la década de los años 60. Este estándar se basa en el Phase Alternation by line. Este estándar de difusión de video es usado en Alemania, Gran Bretaña y en la mayoría de las naciones de Europa del Oeste (Excepto en Francia). Invertiendo la fase relativa de los componentes de la señal de color en el NTSC. Utiliza QAM para modulación de color. Dicho de otro modo, PAL se parece a NTSC.

Basado en sistemas de poder de 50 Hz, PAL muestra 625 líneas entrelazadas a 50 campos por segundo (25 tramas por segundo). PAL no es compatible con NTSC ni con SECAM, sin embargo la conversión entre los estándares es posible.

Los productos de video que se han usado en Europa requieren ser compatibles con PAL. Existen variaciones del sistema PAL: PAL B, G, H – PAL I – PAL D – PAL N – PAL M.

SISTEMA	PAL B, G, H	PAL Y	PAL D	PAL N	PAL M
LINEAS DE CAMPO	625/50	625/50	625/50	625/50	525/60
FRECUENCIA HORIZONTAL	15.625 Khz	15.625 Khz	15.625 Khz	15.625 Khz	15.750 Khz
FRECUENCIA VERTICAL	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	60 Hz
FRECUENCIA DE SUBPORTADORA DE COLOR	4.43361 8 Mhz	4.43361 8 Mhz	4.43361 8 Mhz	3.58205 6 Mhz	3.57561 1 Mhz
ANCHO DE BANDA DE VIDEO	5 Mhz	5.5 Mhz	6 Mhz	4.2 Mhz	4.2 Mhz
PORTADORA DE SONIDO	5.5 Mhz	6 Mhz	6.6 Mhz	4.5 Mhz	4.5 Mhz

Tabla 2.7: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PAL

2.12.3 SECAM (SEQUENTIEL COULEUR AVEC MEMOIRE)

Es la abreviación de “Sequentiel Couleur Avec Memoire”. Fue introducido en Francia a principio de los años 60. El sistema de control de línea secuencial, usado en Francia, Rusia, Europa del Este y algunos países del Medio Este. Como el PAL, el SECAM es basado en sistemas de poder de 50 Hz, mostrando líneas de entrelazado a 50 campos por segundo. La información de color es transmitida secuencialmente (R-Y seguida por B-Y, etc.) para cada línea e impartida por una subportadora de frecuencia modulada, que

evita la distorsión surgida durante la transmisión NTSC, SECAM no es compatible con NTSC ni con PAL, sin embargo la conversión entre los estándares es posible.

SISTEMAS	SECAM B, G, H	SECAM D, K, KI, L
LINEAS / CAMPO	625/50	625/50
FRECUENCIA HORIZONTAL	15.625 Khz	15.625 Khz
FRECUENCIA VERTICAL	50 Hz	50 Hz
ANCHO DE BANDA DE VIDEO	5 Mhz	6 Mhz
PORTADORA DE SONIDO	5.5 Mhz	6.5 Mhz

Tabla 2.8: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SECAM

	A	M	N	B	C	G	H	I	D, K	L	F	E
líneas/frame	405	525	625	625	625	625	625	625	625	625	819	819
campos/seg	50	60	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Entrelazado	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1
frames/seg	25	30	.....	25	25	25	25	25	25	25	25	25
líneas/seg	10125	15750	.....	15625	15625	15625	15625	15625	15625	15625	20475	20475
relación_aspecto		4:3	.....	4:3	4:3	4:3	4:3	4:3	4:3	4:3	4:3	4:3
banda-video[Mhz]	3	4.2	4.2	5	5	5	5	5.5	6	6	5	10
banda-RF[Mhz]	5	6	6	7	7	8	8	8	8	8	7	14
polaridad-visual	positiva	negativa	negativa	negativa	positiva	negativa	negativa	negativa	negativa	positiva	positiva	positiva
modulación-sonido	A3	F3	.....	F3	A3	F3	F3	F3	F3	F3	A3	A3
pre-énfasis [ms]	.....	75	.....	50	75	75	75	75	75	75	75	.....
desviación [khz]	.....	25	.....	50	25	25	25	25	25	25	25	.....
gama de señal de imagen	0.45	0.45	.....	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6

Tabla 2.9: ESTANDARES INTERNACIONALES DE TELEVISIÓN.

CAPITULO III

TELEVISIÓN DIGITAL

3.1 INTRODUCCIÓN

Los años 90 pasarán a la historia desde el punto de vista tecnológico por la implantación de la televisión digital.

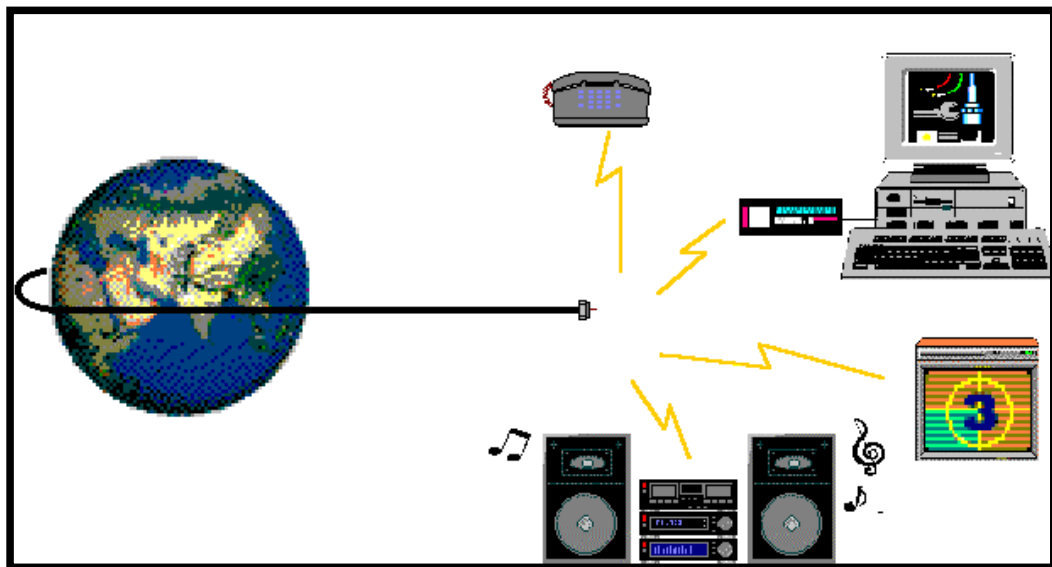


Figura 3.1: ESQUEMA REPRESENTATIVO DE COMUNICACIÓN INTEGRADA

Tras unos años de revolución tecnológica en el mundo de las telecomunicaciones en general, sin duda, lo que ha permitido comenzar la revolución en el mundo de la televisión ha sido por un lado la viabilidad de la puesta en práctica de las ideas acerca del tratamiento digital de la señal de

televisión, y por otra parte, el desarrollo de estándares de codificación y transmisión. El gestor de esta revolución nace en Septiembre de 1993 en Europa y es el proyecto DVB (DIGITAL VIDEO BROADCASTING) . Con estas siglas se conoce al proyecto europeo que tiene por objetivo establecer, por consenso, el marco técnico para la introducción de los sistemas de TV digital que serán usados por los radiodifusores. Es un consorcio de alrededor 300 compañías de difusión, fabricación, operadores y reguladores de la red, quienes han venido juntos a establecer estándares internacionales comunes para la difusión de señales analógicas y digitales.

Esta iniciativa de mercado ha dado lugar a DVB que se ha convertido, por tanto, en un estándar internacional fundamental y principal y la única opción para las tecnologías que permite la difusión digital eficiente, rentable, y de más alta calidad. La oficina del proyecto de DVB y su personal se encuentra en Ginebra (Suiza).

Este proyecto ha desarrollado los estándares de transmisión de señales digitales vía satélite, cable y terrestre, optando paralelamente por el MPEG-2 (Moving Pictures Expert Group) como estándar de codificación de audio y vídeo.

Finalmente cabe destacar la flexibilidad de las técnicas empleadas y su capacidad evolutiva hacia nuevos horizontes como la HD (alta definición), televisión interactiva o la fusión con el universo multimedia.

Los sistemas de difusión digital definidos en el proyecto DVB representan una familia de especificaciones que se ajustan a las características del medio de transmisión en el que se aplican.

De esta forma los diferentes sistemas satisfacen, desde el punto de vista técnico, operacional y comercial, los requerimientos del medio de transmisión particular para el que han sido diseñados (satélite, cable, terrestre), manteniendo un alto nivel de aspectos comunes entre las diferentes soluciones. Las peculiaridades se ciñen a aquellos aspectos del sistema que dependen del medio de transmisión.

Los tres sistemas de difusión (satélite, cable, terrestre) tienen en común la señal fuente (MPEG-2), así como algunas partes de codificación, tales como la protección contra errores de código de bloque empleado (Reed Solomon 204,188), algoritmo para realizar la dispersión de energía y entrelazado (interleaving). Sin embargo los sistemas de modulación empleados son dependientes del medio de transmisión.

3.2 ¿CÓMO SE CREA LA TV DIGITAL?

Naturalmente partimos desde el punto de convertir una señal analógica en digital, lo cual se obtiene digitalizando la señal.

3.2.1 DIGITALIZACIÓN

Esta comienza con dos pasos: el muestreo y la codificación de la señal.

3.2.1.1 EL MUESTREO

Consiste en la medición instantánea del valor de la señal en intervalos de tiempo constantes determinados, tomando así una muestra de la señal por cada intervalo de tiempo.

Para mejor comprensión representaremos lo dicho en las figuras 3.2 y 3.3, asumiendo que la señal analógica tiene la forma:

$$e(t) = A \sin \omega t - A/2 \cos 2 \omega t$$

Y que de esta señal se tomará una muestra cada 20 unidades de tiempo, lo que nos dará 18 muestras de la señal por periodo.

Debido a que los impulsos resultantes del muestreo se modulan por las amplitudes de la señal analógica se le denomina P.A.M.

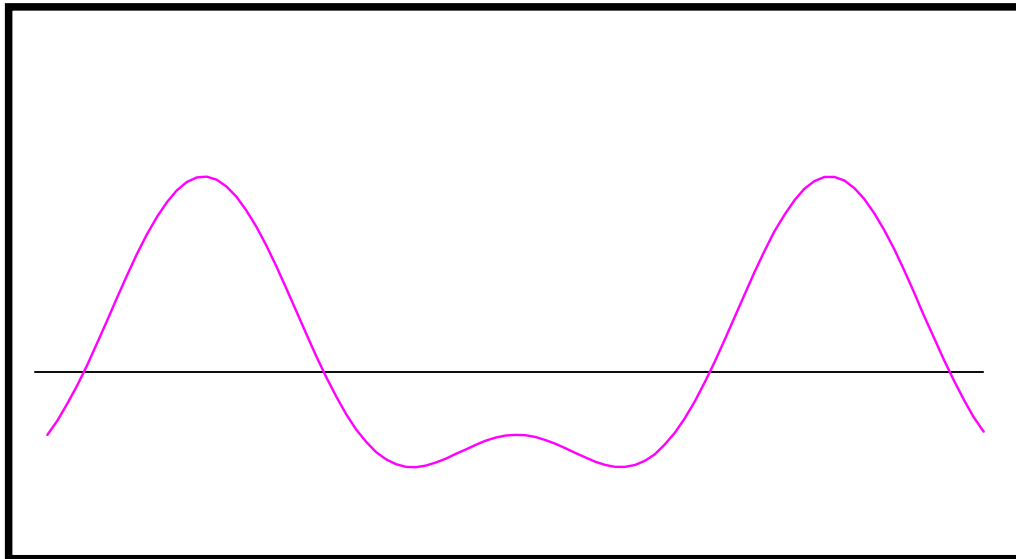


Figura 3.2: SEÑAL ANALÓGICA $e(t) = A \text{ sen } \omega t - A/2 \text{ cos } 2 \omega$

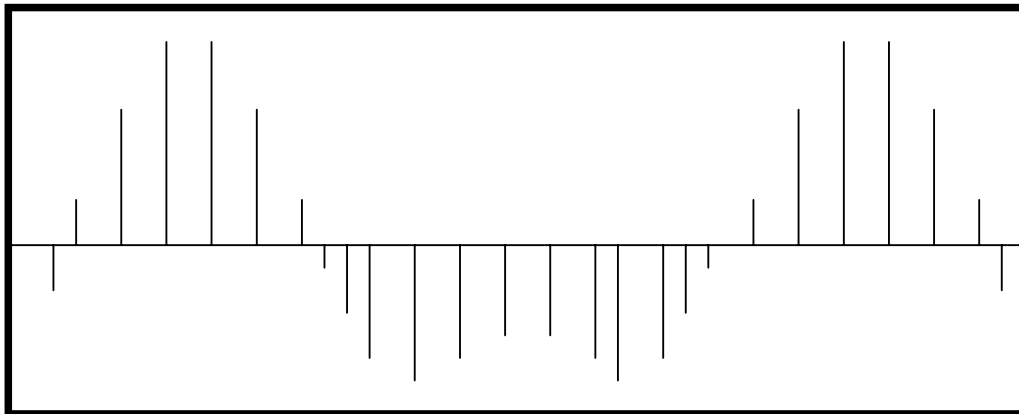


Figura 3.3: RESULTADO DEL MUESTREO. SEÑAL PAM

Para la selección de la frecuencia de muestreo se deben seguir tres exigencias:

1. La frecuencia de muestreo sea por lo menos 12 Mhz.
2. La frecuencia de muestreo debe ser múltiplo entero de la frecuencia de líneas.
3. Para obtener una frecuencia de muestreo universal, esta debe ser múltiplo de todas las frecuencias de línea de los estándares existentes en el mundo

3.2.2 CODIFICACION

Las normas internacionales nos presentan dos soluciones cuestionables todavía:

1. La codificación de las señales compuestas
2. La codificación de las componentes

3.2.3 LA CODIFICACIÓN DE LAS SEÑALES COMPUESTAS

Esta opción digitaliza las señales compuestas existentes sean estas NTSC, PAL, SECAM para que luego de algunas conversiones analógica/digital (A/D)

digital/analógica (D/A) obtenerlas nuevamente. Es obvio que se seguirá teniendo distintas normas y no se podrá hacer el intercambio de programas entre ellas, además que se tendrá que respetar todavía la secuencia de 4 y 8 campos para NTSC Y PAL respectivamente, lo que constituye desventajas. En las figuras 3.4 y 3.5, ilustramos la codificación de la señales compuestas.

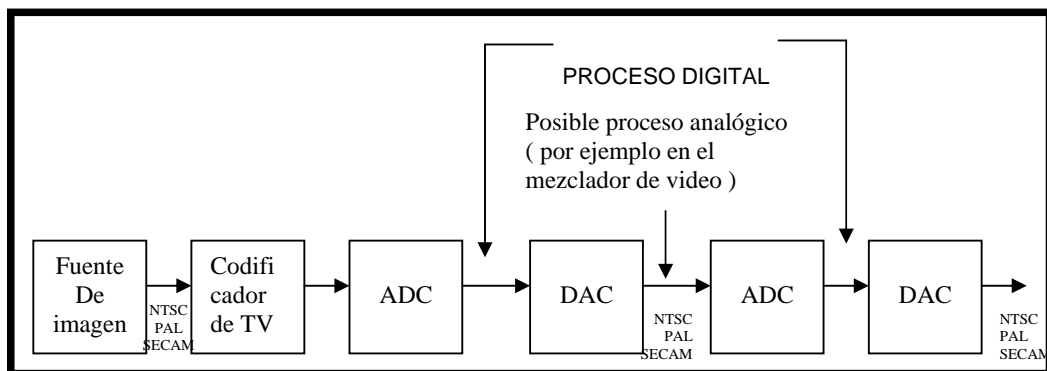


Figura 3.4: SITUACIÓN EN UN ESTUDIO HÍBRIDO. POSIBLE CONFIGURACIÓN DURANTE LA FASE DE TRANSICIÓN. PUEDE SER NECESARIAS VARIAS CONVERSIONES A/D Y D/A.

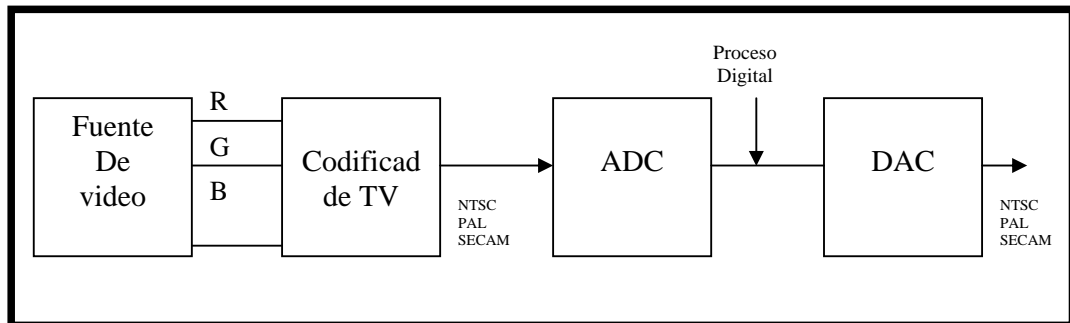


Figura 3.5: SITUACIÓN EN UN ESTUDIO DIGITAL COMPLETO. ES NECESARIO UN ÚNICO PROCESO DE CONVERSIÓN A/D Y D/A. CADA FUENTE DE IMAGEN POSEE SU PROPIO CODIFICADOR DE TELEVISIÓN.

3.2.4 LA CODIFICACIÓN DE LAS COMPONENTES

En este método se digitalizan tres señales Y , $K_1(R - Y)$ y $K_2(B - Y)$ en las que K representa un factor de multiplicación determinado por las características de sistema digital.

Con este método obtendríamos una compatibilidad de todos los sistemas de televisión, ya que todos parten de las señales de luminancia haciendo posible el intercambio internacional de señales digitales sin operaciones adicionales, para la codificación en la norma nacional de televisión solo se hace necesario un solo codificador de televisión y además para la grabación sobre cinta magnética solo se tomaría en cuenta la secuencia de dos campos, resolviendo así las dificultades que se presentaban en los campos PAL y NTSC.

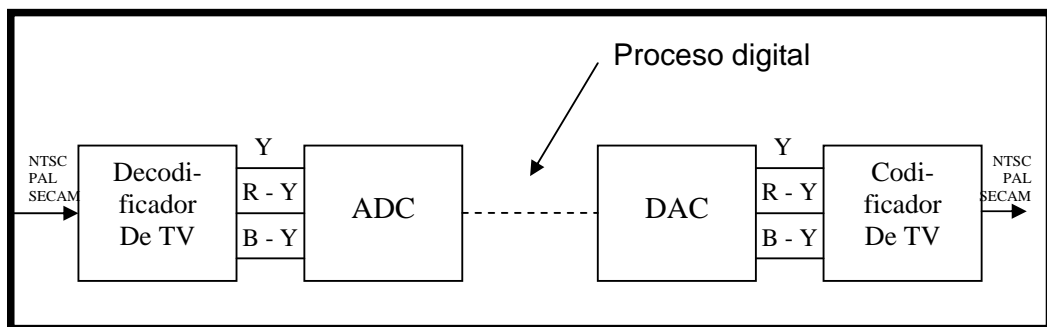


Figura 3.6: POSIBLE TRATAMIENTO DE SEÑAL DE TV DURANTE LA TRANSICIÓN A UN ESTUDIO DIGITAL COMPLETO. CADA EQUIPO DIGITAL NECESITA UN CODIFICADOR Y DECODIFICADOR

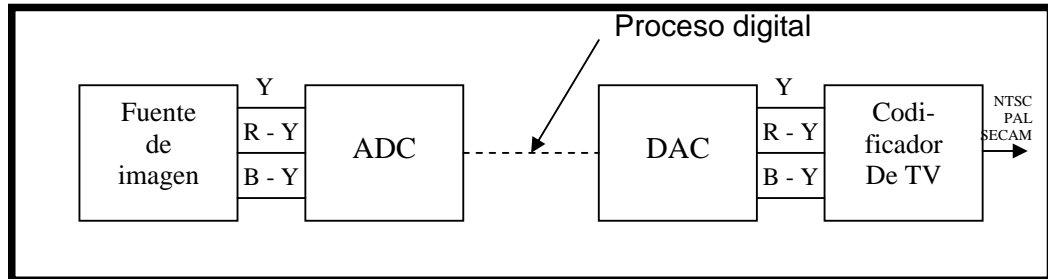


Figura 3.7: CONFIGURACIÓN DE UN ESTUDIO COMPLETAMENTE DIGITAL. SE NECESITA UN SOLO CODIFICADOR DE TELEVISIÓN AL FIN DE LA CADENA

En las figuras 3.6 y 3.7, se ilustra la codificación de las componentes.

3.2.5 LA NORMA 4:2:2

Se trata de un sistema de codificación de componentes, o sea que se muestrean la señal de luminancia E'_y y las dos señales diferencias de color ($E'_R - E'_y$) y ($E'_B - E'_y$), señales que han pasado ya por el corrector de gama.

Si los valores de las señales primarias se fijan en 1V, la señal E'_y variará entre 0 y 1V. $E'_R - E'_y$ tendrá como valores extremos +0,701 V y -0,701 V respectivamente para el color rojo y el cyan saturado a 100%. $E'_B - E'_y$ se elevará, para el azul y el amarillo saturados al 100% respectivamente, a +0,886 V y -0,886 V.

Para reducir estos valores extremos a 1 voltio, esto es, a + 0,5 V y -0,5 V, los coeficientes se calculan como sigue:

para el rojo $K_R = 0,5/0,701 = 0,713$

para el azul $K_B = 0,5/0,886 = 0,564$

Las señales diferencias de color muestreadas se transforman entonces en $0,713 (E'_R - E'_Y)$ y $0,564 (E'_B - E'_Y)$

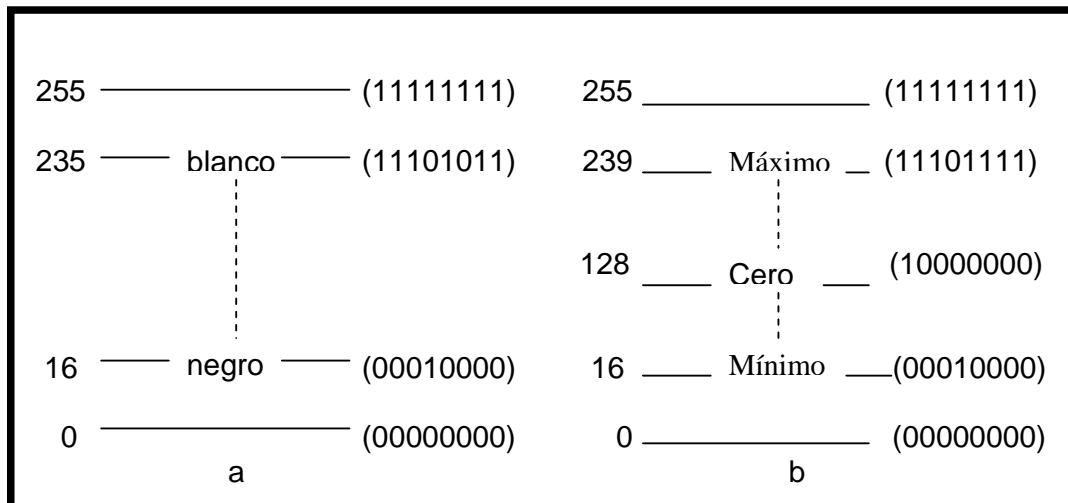


Figura 3.8: a) CUANTIFICACIÓN DE LA SEÑAL DE LUMINANCIA. b) CUANTIFICACIÓN DE LA SEÑAL DE CROMINANCIA.

Siguiendo la tercera exigencia para la frecuencia de muestreo, esta se fijó en 13,5 MHz para la señal de luminancia, para señales diferencias de color

basta con un ancho de banda mas limitado. Se muestrean pues con la mitad de la frecuencia de la luminancia, o sea 6, 75 MHZ.

Esto conduce respectivamente en PAL y NTSC a 864 y 858 muestras por línea en lo que atañe a la luminancia y a 432 y 429 para las señales diferencias de color. La estructura de muestreo es ortogonal ya que la frecuencia de muestreo es un múltiplo entero de la frecuencia de líneas, como se ilustra en la figura 3.9.

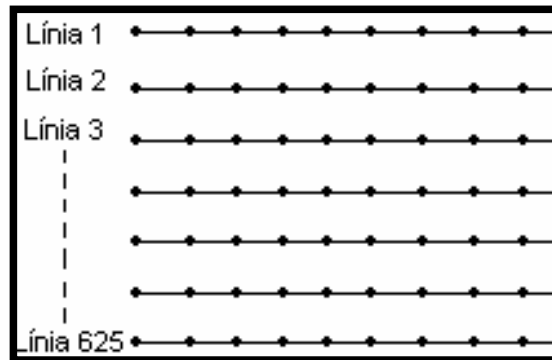


Figura 3.9: CUANDO LA FRECUENCIA DE MUESTREO ES UN MÚLTIPLO DE LA FRECUENCIA DE LÍNEA, SE PRODUCE UN PATRÓN DE MUESTREO ORTOGONAL.

Esta estructura se repite a cada campo y cuadro. Las muestras de las señales diferencias de color se toman al mismo tiempo que las muestras impares de la luminancia, o sea a la primera, tercera, quinta,... muestra de cada línea. La codificación es lineal y se compone de 8 bitios por muestra, tanto para la luminancia como para las señales diferencias de color, lo que corresponde a $2^8 = 256$ niveles de cuantificación.

Se toman 220 niveles de cuantificación para la luminancia. El nivel del negro corresponde al número 16; el nivel del blanco al 235 ($235 - 16 + 1 = 220$). Queda una pequeña reserva de cerca del 10% para tener en cuenta una eventual sobremodulación.

Se utilizan 224 niveles de cuantificación para las señales diferencias de color con un valor del cero analógico correspondiente al número digital 128, lo que proporciona como valores extremos (128 ± 112) o sea entre 240 y 16, lo que supone una reserva de 16 niveles a ambos lados.

Esto se representa en la figura 3.8.

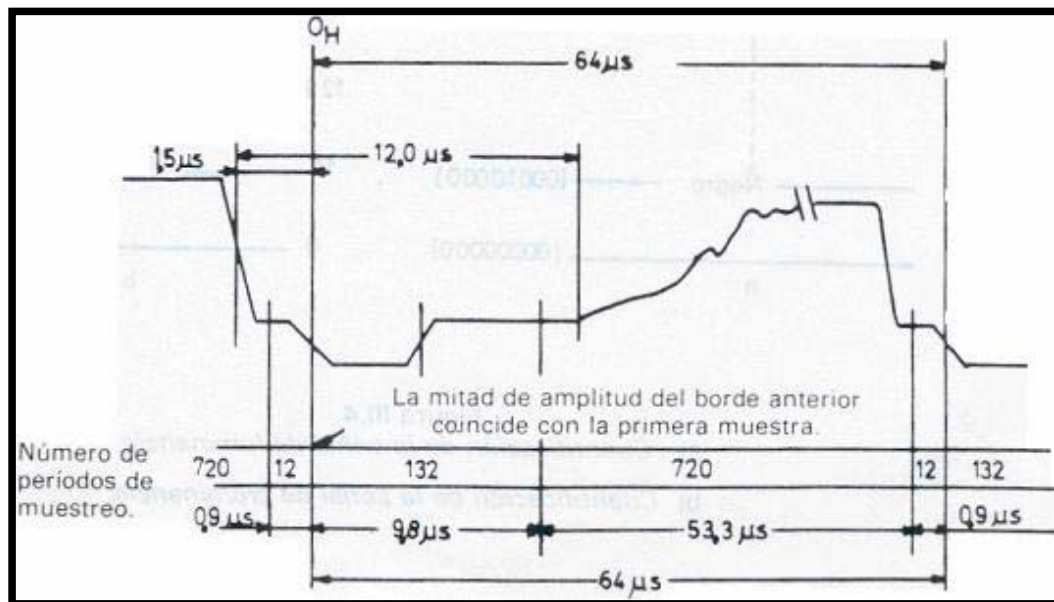


Figura 3.10: DISTRIBUCIÓN DE LAS MUESTRAS EN LOS SISTEMAS 625-50.

sincronismo de línea medido a mitad de amplitud (punto O_H en la figura 3.10 y 3.11).

A partir de ese punto, durante 132 períodos de muestreo, no se toman muestras. Eso significa que el muestreo empezará $0,074074115 \times 132 = 9,778115$ después de O_H . Luego se detiene después de $0,074074 \mu s \times (132 + 720) = 63,111 \mu s$. Queda a continuación tiempo para $864 - (132 + 720) = 12$ muestras que no se exploran tampoco. Todo esto se expresa en la figura 3.10 de donde se deduce que el principio y el fin de la supresión de línea se hallan dentro de la línea activa digital.

En la norma de 525 líneas hay también 720 muestras activas por línea, pero el número de muestras no activas $858 - 720 = 138$ se divide en 122 antes de la línea activa y 16 detrás de las muestras activas (figura 3.11).

Llamemos la atención sobre el hecho de que la codificación lineal con 8 bitios es la forma en la que las señales tienen que presentarse a la entrada y a la salida de los equipos. Dentro de los aparatos, sin embargo el número puede ser diferente. Por ejemplo, la señal en una cámara o telecine antes del corrector de gama podría codificarse con 10 ó 12 bitios para aumentar la precisión y evitar así pasos demasiado grandes. Después del tratamiento dentro del equipo, la señal puede reducirse a 8 bitios.

La norma completa se resume en la tabla siguiente.

Parámetros	Sistema	
	525 líneas 60 campos	625 líneas 50 campos
1. Señales codificadas	Y, (R-Y), (B-Y)	
2. Número de muestras por línea completa		
-luminancia	858	864
-cada señal de diferencia de color(R-Y), (B- Y)	429	432
3. Estructura de muestreo	Ortogonal, estructura idéntica para todos los campos y cuadros. Las señales (A-Y) y (B-Y) se muestrean simultáneamente con las muestras impares de la luminancia (primera, tercera, quinta, etc.).	
4. Frecuencia de muestreo		
-luminancia	13,5 MHz	
-cada señal de diferencia de color	6,75 MHz	
5. Codificación	Cuantificación lineal. Codificación con 8 bits por muestra por la luminancia y cada señal diferencias de color .	
6. Número de muestras activas por línea digital:		
-luminancia	720	
-cada señal de diferencia de color	360	
7. Correspondencia entre los niveles vídeo y de cuantificación:		
-luminancia	220 niveles de cuantificación. El nivel negro corresponde al número digital 16; el nivel nominal de blanco al número 235.	
-cada señal de diferencia de color	224 niveles de cuantificación en la parte central del margen de cuantificación. El nivel de vídeo cero corresponde al número 128.	

Tabla 3.1: PARÁMETROS DE LA NORMA 4:2:2

Valores de las señales vídeo

$$Y' = 0,299 R' + 0,587 G' + 0,114 B'$$

$$C'_R = 0,713 (A' - Y')$$

$$C'_B = 0,564 (B' - Y')$$

Por el momento la UEA continúa la investigación de la relación entre el empeoramiento de la calidad de imagen, la sobre oscilación y el "aliasing" para diferentes tipos de imágenes, antes y después del tratamiento.

Con carácter provisional, se recomienda lo siguiente:

-ancho de banda de la luminancia: plana por lo menos hasta 5,5 MHz a 6,75 MHz -12 dB mínimo.

El filtro analógico anterior a la conversión analógica/digital exige una atenuación de más de 45 dB a 8 MHz.

-ancho de banda de las señales diferencias de color: plana por lo menos hasta 2,75 MHz a 3,375 MHz -12 dB mínimo.

Esos valores se refieren a las señales analógicas y digitales. Las tolerancias no han sido especificadas todavía.

Es evidente que la expresión 4:2:2 se refiere a la relación entre las frecuencias de muestreo de las señales de luminancia y de diferencias de color.

El origen de esta expresión proviene de los comienzos de la investigación en el terreno de la televisión digital cuando se experimentaba con la codificación de señales compuestas. Para evitar batidos, la frecuencia de muestreo se eligió como 4 veces la subportadora de color, o sea 14,32 MHz para NTSC y 17, 72 MHz para los sistemas de 625 líneas.

En 1979, se decidió que las normas de 625 líneas pasaran a codificación de componentes. La UEA decidió además iniciar la investigación de una frecuencia de muestreo de 12 MHz (luminancia) V de 4 MHz (diferencias de color). Ese sistema recibió la notación 12:4:4. Las imágenes producidas podían compararse con ras engendradas por una imagen analógica RGB con ancho de banda de 6 MHz.

El inconveniente era que la frecuencia máxima de las señales diferencias de color no podía sobrepasar 2 MHz la cual, según los fabricantes de equipos

de estudio, no era bastante alta para alcanzar una incrustación por diferencia de color (chroma-key) fina y precisa. Por ello se volvió a investigar con una frecuencia de muestreo de 6 MHz, de donde nació el sistema 12:6:6.

Entretanto, la SMPTE había aceptado también la codificación de componentes y propuso un sistema 14:7:7.

Por fin, se encontró un compromiso con las frecuencias de muestreo de 13,5-6, 75-6, 75 MHz. Ese compromiso fue apoyado por la UEA, la SMPTE y la OIAT y se presentó al CCIA para su normalización. Debido a que 13,5-6, 75-6, 75 es un poco largo de expresión, se eligió la indicación 4:2:2, dejando la posibilidad para ciertas aplicaciones de dividir o multiplicar esos valores por dos (8:4:4, 4:4:4, 2:1 :1) correspondientes a un múltiplo o a una fracción de las frecuencias de muestreo.

3.3 EL ESTANDAR DVB

El DVB (Digital Video Broadcasting) con estas siglas se conoce al proyecto europeo que tiene por objetivo establecer, por consenso, el marco técnico para la introducción de los sistemas de TV digital que serán usados por los radiodifusores. Es un consorcio de alrededor 300 compañías de difusión, fabricación, operadores y reguladores de la red, quienes han venido juntos a

establecer estándares internacionales comunes para la difusión de señales analógicas y digitales.

Esta iniciativa de mercado ha dado lugar a DVB, que se ha convertido, por tanto, en un estándar internacional fundamental y principal y la única opción para las tecnologías que permite la difusión digital eficiente, rentable, y de más alta calidad. La oficina del proyecto de DVB y su personal se encuentra en Ginebra (Suiza).

Ya para enero de 1995 el proyecto Digital Video Broadcasting (DVB) organizado por la European Broadcasting Union (EBU) o la Unión Europea de Radiodifusión (UER) publicó unos formatos estándares con los cuales se define el nuevo sistema de transmisión digital. Este estándar DVB constituye la base técnica para la transmisión digital en Europa, Asia, Australia, y algunas otras regiones del mundo que comenzaron en 1996.

El DVB parece ser el más oprobado en convertirse en el estándar global que conforme las emisiones en HDTV (Televisión de Alta Definición). Solamente Estados Unidos, tiene otro plan, eso si basado en el MPEG-2, pero usando un modem, un codificador de audio y una EPG (guía electrónica de programación) incompatible con el estándar DVB.

El estándar DVB cubre el diseño de estándar de modems, así como también los estándares de ancho de banda para la transmisión de datos, para algunas importantes funciones auxiliares como teletexto, EPG y acceso condicional. De entrada el estándar MPEG-2 es la base de compresión para todos los flujos de video y audio. Hay un grupo técnico (CA), que se ocupa de las codificaciones por lo que este grupo decidirá las familias de accesos condicionales.

3.3.1 ¿QUÉ ES EL DVB?

Casi todos los medios modernos de telecomunicación siguen ahora el estándar digital. El DVB o sea Digital Video Broadcasting, que traducido al español sería Emisión Video Digital, es el estándar europeo para la transmisión de los varios medios de telecomunicación (como video, audio y datos). Así, se ha creado el estándar europeo único DVB para la televisión digital utilizando un formato de compresión MPEG-2.

Finalmente cabe destacar la flexibilidad de las técnicas empleadas y su capacidad evolutiva hacia nuevos horizontes como la HD (alta definición), televisión interactiva o la fusión con el universo multimedia.

De esta forma los diferentes sistemas satisfacen, desde el punto de vista técnico, operacional y comercial, los requerimientos del medio de transmisión particular para el que han sido diseñados (satélite, cable, terrestre), manteniendo un alto nivel de aspectos comunes entre las diferentes soluciones. Las peculiaridades se ciñen a aquellos aspectos del sistema que dependen del medio de transmisión.

Los tres sistemas de difusión (satélite, cable, terrestre) tienen en común la señal fuente (MPEG-2), así como algunas partes de codificación, tales como la protección contra errores de código de bloque empleado (Reed Solomon 204,188), algoritmo para realizar la dispersión de energía y entrelazado (interleaving). Sin embargo los sistemas de modulación empleados son dependientes del medio de transmisión.

3.3.2 ESTANDARES DVB

Actualmente disponemos de los siguientes estándares DVB:

- DVB – S
- DVB – C
- DVB – T

- DVB – CS
- DVB – SI

A continuación describiremos brevemente las más importantes y luego analizaremos profundamente, en el párrafo 3.4 DVB – S:

DVB – S: Sistema de transmisión digital para televisión, sonido y datos por satélite. Estructuras de secuencias, codificaciones y modulación para 11/12 Ghz fueron publicadas en ETS 300 421. Diciembre de 1994. Los estándares para satélite disponen de varias diferentes velocidades, requerimientos de ancho de banda y capacidades de corrección de errores.

DVB – C: Sistema de transmisión digital para televisión, sonido y datos por cable. Estructura de secuencias, codificaciones y modulación para sistemas de recepción de televisión por cable fueron publicadas en ETS 300 429, Diciembre de 1994. Los estándares para transmisión de cable disponen de varias diferentes velocidades, requerimientos de ancho de banda, y niveles de inmunidad al ruido.

DVB – CS: Sistema de transmisión digital para televisión, sonido y datos por SMATV. Estructura de secuencias, codificaciones y modulación para sistemas de SMATV fueron publicadas en ETS 300 473, Mayo de 1995.

DVB – SI: Sistema de transmisión digital para televisión, sonido y datos. Servicio de especificaciones y servicio (SI) fueron publicadas en ETS 300 468, Octubre de 1995. Contiene las especificaciones de la Guía Electrónica de Programación, sintonización, información de las emisiones que proporciona el operador, etc..

3.3.3 ¿ POR QUE DVB ELIGIO MPEG-2 COMO ESTANDAR ?

La elección del estándar de codificación MPEG-2 (Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento) ha venido motivada por:

- Su estructura paquetizada, que facilita las tareas de sincronización y permite el transporte de todos los componentes en una misma trama binaria.
- La idoneidad del sistema para el almacenamiento, ya que la trama binaria incluye la propia información de presentación para posibilitar el ordenamiento de multitrayecto (TV digital terrena).

Estas características técnicas traerán consigo un gran número de ventajas no sólo a los usuarios, sino también al resto de los participantes que están estableciendo la TV digital.

- a) Fabricantes: aparecerán nuevas oportunidades de negocio.
- b) Radiodifusores: menor costo de alquiler de transpondedores por programa y mayor oferta a los usuarios.
- c) Operadores: mayor oferta de canales debido al aprovechamiento del ancho de banda.
- d) Instaladores: reformas y actualizaciones de instalaciones.

3.3.4 LA COMPRESIÓN MPEG-2

MPEG (Moving Picture Experts Group) es un estándar de compresión de audio, video y datos establecido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Originariamente había 4 tipos diferentes MPEG-1, 2 ,3 y 4 que se diferencian en la calidad y ancho de banda usado.

Ofrece tres ventajas : compatibilidad mundial, gran compresión y poca degradación de la imagen. El estándar no especifica cómo se debe hacer la compresión. Los diferentes fabricantes luchan para determinar el mejor algoritmo, manteniendo siempre la compatibilidad.

Está pensado de manera que la descompresión sea relativamente sencilla y barata. Sin embargo, la compresión es realmente compleja y ,hasta hace poco, cara.

Una cadena MPEG se compone de tres capas: audio, video y una capa a nivel de sistema. Esta última incluye información sobre sincronización, tiempo, calidad , etc.

MPEG-1 : Establecido en 1991, se diseñó para introducir video en un CD-ROM. Por aquel entonces eran lentos, por lo que la velocidad de transferencia quedaba limitada a 1.5 Mbits y la resolución a 352x240. La calidad es similar al VHS. Se usa para videoconferencias, el CD-i, etc. Si es usado a mayor velocidad, es capaz de dar más calidad.

MPEG-2 : Establecido en 1994 para ofrecer mayor calidad con mayor ancho de banda (típicamente de 3 a 10 Mbits). En esa banda, proporciona 720x486 pixels de resolución, es decir, calidad TV. Ofrece compatibilidad con MPEG-1.

MPEG-3 : Fue una propuesta de estándar para la TV de alta resolución, pero como se ha demostrado que MPEG-2 con mayor ancho de banda cumple con este cometido, se ha abandonado.

MPEG-4 : Está en discusión. Se trata de un formato de muy bajo ancho de banda y resolución de 176x144, pensado para videoconferencias sobre internet, etc. Realmente está evolucionando mucho y hay fantásticos codificadores soft que dan una calidad semejante al MPEG-2 pero con mucho menor ancho de banda. Es la última moda.

JPEG : Joint Photographic Experts Group . Como su nombre indica es un sistema de compresión de fotografías. Muchos de los sistemas de compresión de vídeo, tal como el M-JPEG (motion JPEG) Cinepak e Indeo, se basan en él. Consideran el vídeo como una sucesión de fotografías. MPEG introduce la noción de movimiento de una manera mucho más compleja y agresiva que el M-JPEG.

MPEG-2 puede describirse como una " caja de herramientas" de compresión más compleja que MPEG-1, por lo tanto, también puede ser considerada como una unidad superior: en efecto, toma todas las herramientas anteriores y le añade otras. Además, la norma prevé la compatibilidad ascendente, lo que significa que un decodificador MPEG-2 deberá decodificar trenes binarios elementales de la norma MPEG-1.

3.3.4.1 PERFILES Y NIVELES MPEG-2

MPEG-2 se puede utilizar en un vasto rango de aplicaciones, requiriendo diferentes grados de complejidad y desempeño.

Para un propósito práctico el estándar MPEG-2 es dividido en perfiles y cada perfil es subdividido en niveles (Ver la Figura 3.8). Un perfil es básicamente el grado de complejidad esperada en la codificación, mientras que un nivel describe el tamaño de la imagen, la resolución de esta o la velocidad de transferencia de bits usada en ese perfil. En principio, hay 24 combinaciones posibles, pero no todas están definidas. Un codificador MPEG cuando entrega un perfil y un nivel determinado, debe además ser capaz de decodificarlo a perfiles y niveles inferiores.

		PERFILES					
		Simple	Principal	4:2:2	SNR	Espacial	Alto
NIVELES	Alto		4:2:0 1920 x 1152 80Mb/s				4:2:0 o 4:2:2 1920 x 1152 100Mb/s
	Alto 1440		4:2:0 1440 x 1152 60Mb/s			4:2:0 1440 x 1152 60Mb/s	4:2:0 o 4:2:2 1440 x 1152 80Mb/s
	Principal	4:2:0 720 x 576 15Mb/s Sin B	4:2:0 720 x 576 15Mb/s	4:2:2 720 x 608 50Mb/s	4:2:0 720 x 576 15Mb/s		4:2:0 o 4:2:2 720 x 576 20 Mb/s
	Bajo		4:2:0 352 x 288 4Mb/s		4:2:0 352 x 288 4Mb/s		

Figura 3.12: NIVELES Y PERFILES DE MPEG-2

Un perfil simple no soporta una codificación bidireccional y de este modo solo genera imágenes I y P. Esto reduce la tasa de compresión simplificando el codificador y el decodificador; permitiendo un sencillo hardware. Un perfil simple solamente está definido en el nivel main (principal) como (SP@ML). El perfil main (principal) corresponde actualmente al mejor compromiso entre calidad/tasa de compresión, utilizando los tres tipos de imágenes (I, P y B), a costa de un codificador y decodificador, más complejos.

Los perfiles escalables (código jerárquico) están previstos para operaciones posteriores y permitirán transmitir una imagen básica (base layer) en

términos de resolución espacial (spatially scalable profile) o de cuantificación (SNR scalable profile), así como información suplementaria independiente (enhanced layer) que permite mejorar sus características, por ejemplo para transmitir la misma emisión en definición estándar y HD (High Definition), o permitir una recepción con calidad aceptable en caso de recepción difícil y de calidad óptima en buenas condiciones (por ejemplo, para la televisión digital terrestre).

La Figura 3.13 muestra un codificador MPEG convencional, con coeficientes de cuantificación de elevado peso; que al codificar una imagen la genera con una moderada razón señal a ruido. Después esta imagen al ser decodificada y sustraída de la imagen original pixel a pixel da como resultado una imagen de "ruido de cuantificación". Esta imagen puede ser comprimida y transmitida como una imagen de ayuda. Un simple decodificador solo decodifica la imagen principal, con un flujo de bit con ruido de cuantificación, pero un decodificador más complejo puede decodificar ambas imágenes con diferentes flujos de bits y combinarlos para producir una imagen con bajo ruido. Este es el principio del perfil SNR escalable.

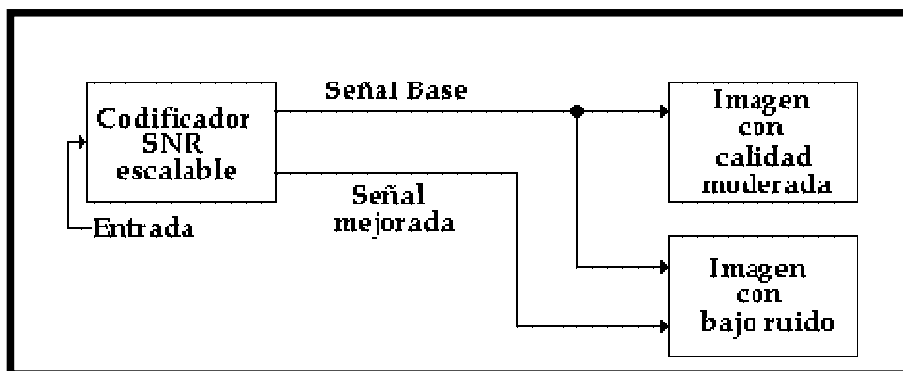


Figura 3.13: CODIFICACIÓN ESCALABLE SNR

Como otra alternativa, la figura 3.14 muestra que por solo codificar las frecuencias espaciales bajas en imágenes HDTV, parte del flujo de bits puede ser reconstruido por un receptor con codificador para SDTV (Standard Definition TeleVision). Si una imagen de baja definición es localmente decodificada y sustraída de la imagen original, se produce entonces una imagen de "realce de definición", esta imagen puede ser codificada en una señal de ayuda. Un decodificador de forma conveniente podría combinar las señales principales y de ayuda para recrear la imagen HDTV. Este es el principio del perfil de escalabilidad espacial.

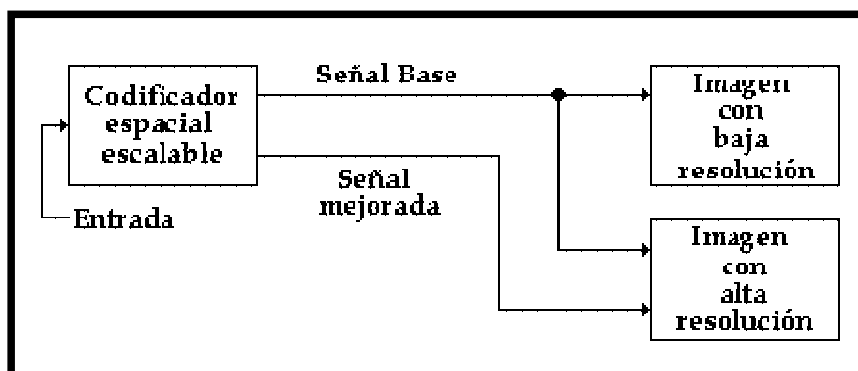


Figura 3.14: CODIFICADOR ESPACIAL ESCALABLE

El perfil high (alto) soporta tanto el SNR y la escalabilidad espacial como también la opción de muestreado 4:2:2.

El perfil 4:2:2 se ha desarrollado para proveer compatibilidad con los equipos de producción digital de televisión existentes. Este perfil admite trabajar con 4:2:2 sin requerir una complejidad adicional si se usa en el perfil high. Por ejemplo, un decodificador HP@ML debe soportar escalabilidad SNR que no es requerida en la producción de televisión digital. El perfil 4:2:2 tiene la misma libertad de escoger su estructura de GOP como en otros perfiles, pero en la práctica este usa comúnmente GOPs cortos de edición sencilla. La operación 4:2:2 requiere una mayor velocidad en la transmisión del bit que una operación 4:2:0, y el uso de pequeños GOPs requiere también de mayores velocidades de transferencia de bits para proporcionar calidad en sus imágenes.

- El nivel low (bajo) corresponde a la resolución SIF utilizada en el MPEG-1.
- El nivel main (principal) corresponde a la resolución 4:2:0 "normal" (de hasta 720 pixeles x 576 líneas).
- El nivel high-1440 (alto-1440) está destinado a la HDTV (de hasta 1440 pixeles x 1152 líneas).

- El nivel high (alto) está optimizado para la HDTV (de hasta 1920 pixeles x 1152 líneas).

Según el compromiso de calidad/flujo de bits perseguido y la naturaleza de las imágenes, el flujo de bits estará comprendido entre los 4 Mbits/s (calidad equivalente a la de una imagen codificada en PAL o SECAM) y los 9 Mbits/s (calidad próxima a la de una imagen de estudio CC1R-601).

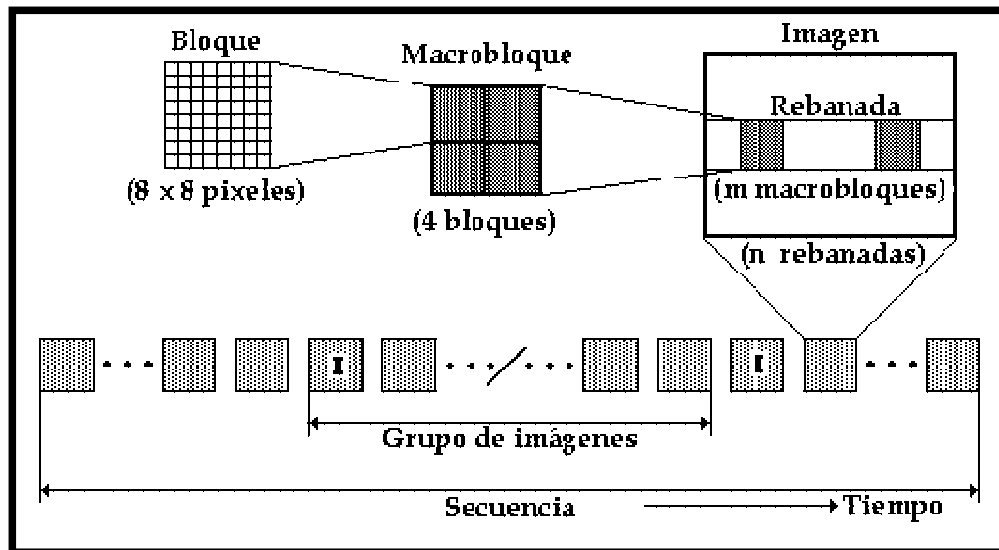


Figura 3.15: JERARQUÍA DE CAPAS DE LA SECUENCIA

Una diferencia que hay que destacar para las slices, es que en MPEG-2 no necesariamente abarcan toda la imagen, y además deben estar compuestas únicamente de macrobloques contiguos situados en la misma línea horizontal. Ver Figura. 3.16.

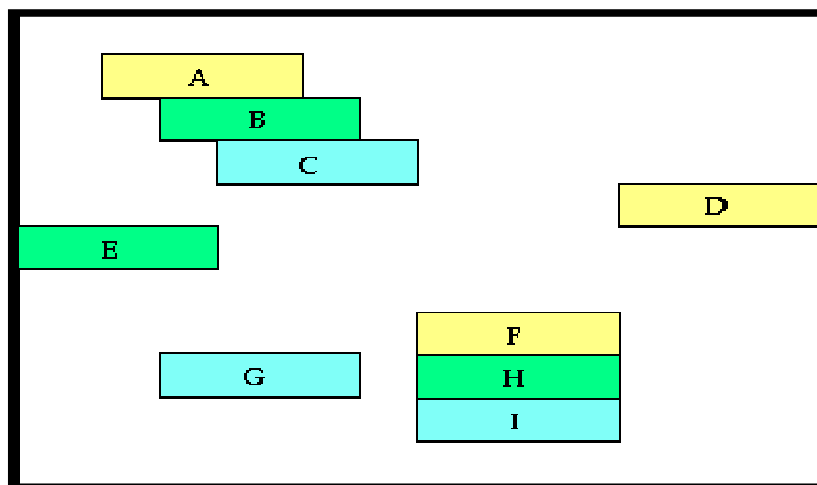


Figura 3.16: REBANADAS (SLICES) EN MPEG-2

La principal novedad con respecto a MPEG-1, además de los perfiles y niveles, provienen del tratamiento de las imágenes entrelazadas.

3.3.4.2 MODOS DE PREDICCIÓN ESPECÍFICOS EN MPEG-2

Dependiendo del trabajo a realizar, estas pueden ser tratadas de manera diferente según la importancia de los movimientos entre los dos campos de una misma imagen (los casos extremos son, por un lado, cuando se transmiten películas cinematográficas por televisión "telecine" donde no hay movimiento entre los dos campos de TV, puesto que proceden de la exploración del mismo fotograma de la película, y por otro lado, las imágenes

de video de acontecimientos deportivos, donde puede haber importantes movimientos entre los dos campos de una imagen).

La Figura 3.17 representa la secuencia temporal de la posición vertical de las líneas de los campos sucesivos en un sistema entrelazado.

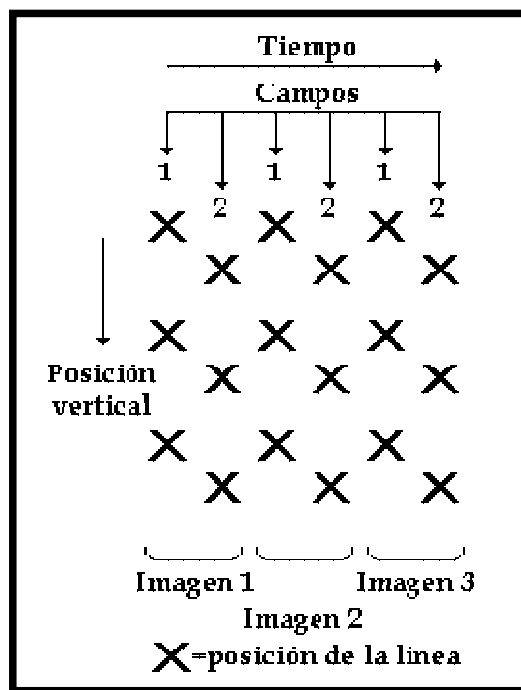


Figura 3.17: POSICIÓN DE LAS LÍNEAS DE CAMPOS SUCEIVOS EN UN SISTEMA ENTRELAZADO

Para la codificación Intra de las imágenes entrelazadas, MPEG-2 permite elegir entre dos estructuras de imágenes llamadas frame (estructura "imagen") o field (estructura "campo").

3.3.4.3 LA ESTRUCTURA "FRAME"

También llamada "progresiva", es apropiada para los casos donde hay poco movimiento entre dos campos sucesivos. Los bloques y macrobloques se dividen en la imagen completa (Ver Figura. 3.18), y la DCT¹ se efectúa, sobre puntos verticales que distan 20 ms en el tiempo, lo que no plantea problemas si los dos campos difieren poco.

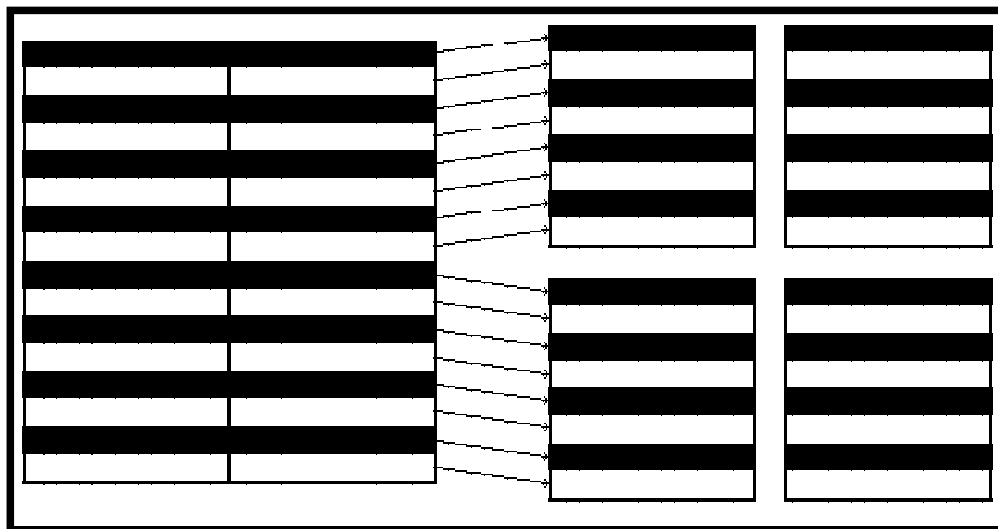


Figura 3.18: DIVISIÓN DE LOS MACROBLOQUES EN BLOQUES EN MODO IMAGEN (FRAME)

En este caso, siempre es posible codificar los bloques de mayor animación en modo inter-campo, es decir, dividiéndolos en un campo.

¹ DTC, de las siglas en inglés Discrete Transformor Cosine, y la describiremos más adelante.

3.3.4.4 LA ESTRUCTURA "FIELD"

También llamada "entrelazada", es preferible cuando el movimiento de un campo a otro es importante. En este caso, a fin de evitar un contenido en frecuencias verticales elevadas que reduciría la eficacia de la compresión tras efectuar la DTC, la división de los macrobloques se hace considerando cada uno de los campos como una imagen independiente en el interior del cual se toman los bloques. Ver Figura 3.19.

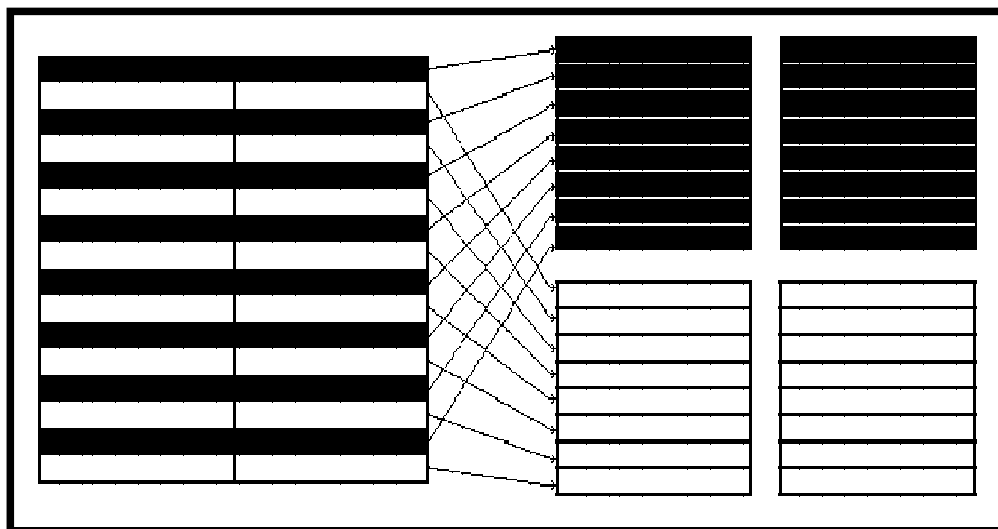


Figura 3.19: DIVISIÓN DE LOS MACROBLOQUES EN BLOQUES EN MODO CAMPO (FIELD)

En cuanto a la estimación de movimiento, también hay varios modos previstos:

Un macrobloque puede predecirse en modo "imagen", "campo" o "mixto"

- **El Modo "Frame".-** Un macrobloque formado en el campo impar sirve para predecir el bloque correspondiente del próximo campo impar, y lo mismo para los bloques del campo par, por tanto, la predicción se hace sobre un tiempo de 40 ms (2 campos).
- **El Modo "Field".-** La predicción de un bloque se efectúa a partir de un bloque del campo anterior, entonces aquí, los vectores de movimiento corresponden a un tiempo de 20ms.
- **El Modo "Mixto".-** Los bloques se predicen a partir de dos bloques que corresponden a dos campos.

3.3.4.5 SCANNING (Exploración)

Después de realizar la DTC a un bloque de 8x8 pixeles, se nota que generalmente los coeficientes más significativos de la DTC se encuentran en la parte superior izquierda de la matriz. Una vez evaluados, los coeficientes de menor valor pueden ser redondeados a cero. Permitiendo de este modo, una transmisión de datos más eficiente, debido a que los coeficientes no-cero son enviados primero, seguido de un código el cual indica que todos los demás números son ceros.

La exploración es una técnica que aumenta la probabilidad de alcanzar este resultado, porque ella envía los coeficientes en orden descendente según su probabilidad. La Figura 3.20 muestra que en un sistema no-entrelazado, la probabilidad de hallar coeficientes de mayor peso es más alta en la parte superior izquierda que en la parte inferior derecha. Aquí una exploración en forma diagonal a 45° es la que se denomina una exploración en zig-zag, la cual es la mejor secuencia para emplear en este caso.

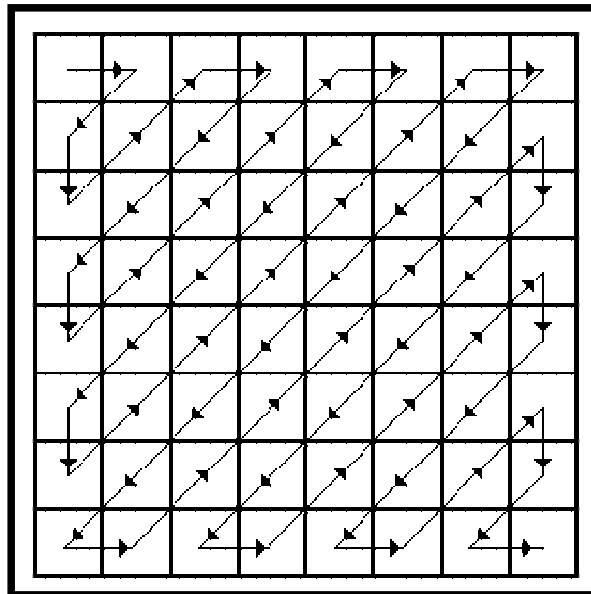


Figura 3.20: EXPLORACIÓN CLÁSICA O EN ZIG-ZAG, NORMALMENTE PARA CUADROS (FRAMES)

En la Figura 3.17 muestra una exploración para una fuente entrelazada, se observa que la exploración se extiende dos veces más por encima del área vertical, de este modo se pueden conseguir más detalles acerca de la imagen. Las frecuencias verticales aparecen dos veces más que las

frecuencias horizontales. Por tanto, la exploración ideal para una imagen entrelazada será sobre una diagonal de 67.5° . La Figura 3.21 muestra que esta forma de exploración, entrega primero las frecuencias espaciales verticales y luego las frecuencias espaciales horizontales.

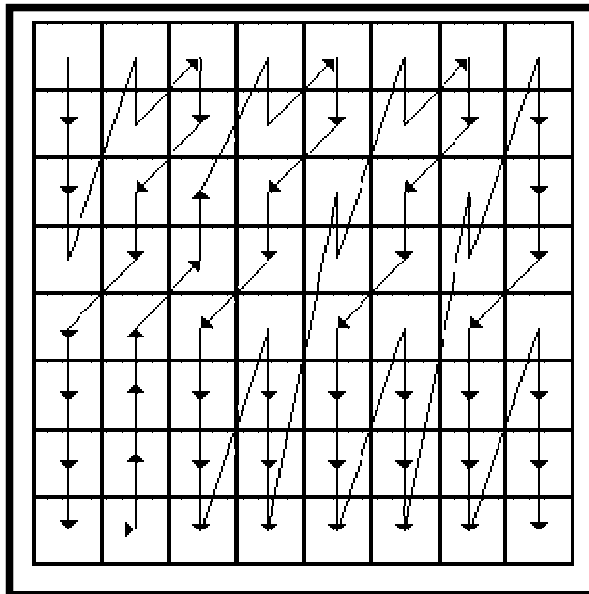


Figura 3.21: EXPLORACIÓN ALTERNADA, NORMALMENTE PARA CAMPOS (FIELDS)

3.3.4.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CODIFICACIÓN MPEG-2

Al igual que MPEG-1, la norma no define explícitamente el método de codificación, sino únicamente la sintaxis que controla el tren binario a la salida del codificador, lo cual deja gran libertad a su diseñador.

El esquema de bloques MPEG-1, también se aplica al codificador MPEG-2.

Ver Figura 3.22.

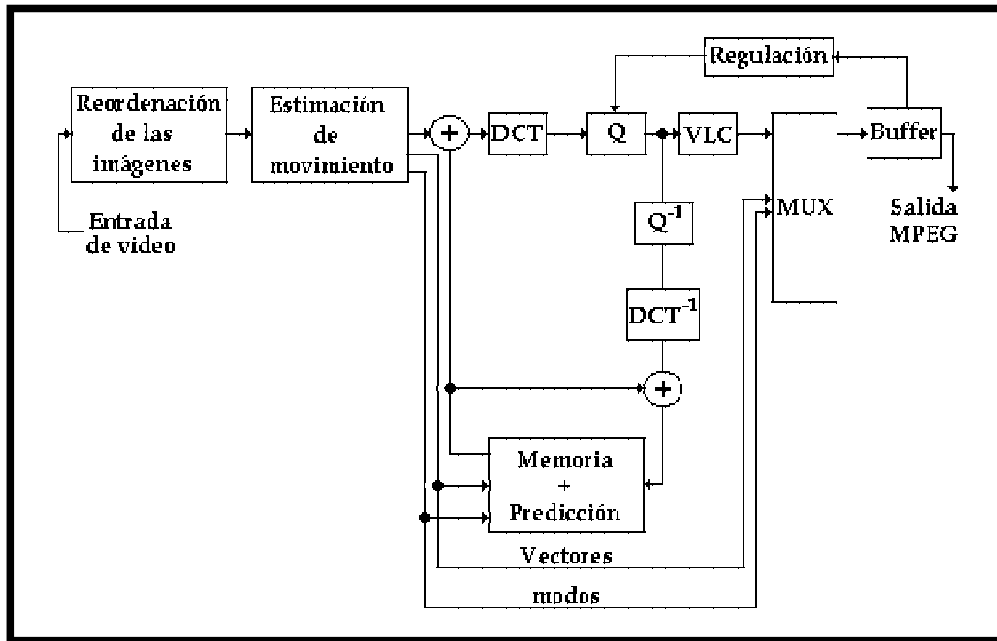


Figura 3.22: ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL CODIFICADOR MPEG-2

A partir de la imagen digitalizada en formato 4:2:0 (caso del main profile), el codificador elige para cada imagen su tipo (I, P o B) y si esta debe ser codificada en modo frame (imagen) o field (campo). El codificador a continuación debe estimar los vectores de movimiento para cada macrobloque de 16x16 píxeles. El número de vectores depende del tipo de imagen y del modo de codificación escogido para cada bloque.

En el caso más general, donde el codificador es capaz de generar imágenes B (bidireccionales), deberá reordenar las imágenes antes de la codificación y la transmisión.

La unidad básica de codificación es el macrobloque, compuesto por 4 bloques de luminancia de 8x8 píxeles y (en el caso del formato 4:2:0) de 2 bloques de crominancia (un Cr y un Cb) de 8x8 píxeles que abarcan la misma zona de la imagen.

Todos los macrobloques de la imagen se codifican secuencialmente de izquierda a derecha y de arriba abajo, eligiéndose un modo de codificación independiente para cada uno de ellos.

Una vez que se ha elegido el modo de codificación, la predicción con compensación de movimiento del contenido del bloque se hace a partir de la imagen de referencia (I o P) pasada (caso de las imágenes P) y eventualmente futura (caso de las imágenes B). La predicción se elimina de los datos reales del macrobloque, lo que da la señal de error de predicción.

En una imagen con estructura frame, el codificador deberá elegir entre efectuar la DTC en modo frame o field. Esto depende principalmente de la amplitud del movimiento entre los campos de la imagen.

La señal de error se separa inmediatamente en bloques de 8x8, a los que se aplica la DTC. Cada bloque de coeficientes resultante se cuantifica y barre en zig-zag para formar una serie de coeficientes. Seguidamente, se codifica la información auxiliar necesaria para que el decodificador pueda reconstruir el

bloque (modo de codificación, vectores de movimiento, etc.), codificando los coeficientes cuantificados con ayuda de una tabla VLC (codificación Huffman).

La unidad de control de flujo supervisa el estado de ocupación de la memoria intermedia de salida, utilizando esta información como retorno para controlar el número de bits que el codificador generará para los bloques siguientes, jugando principalmente con los coeficientes de cuantificación. Se obtiene entonces a la salida del codificador un tren binario completo, ya utilizable para un decodificador.

Para aumentar la calidad de la imagen decodificada, el propio codificador almacena y decodifica (decuantificación de los coeficientes después de la DTC inversa) las imágenes I y P, como referencia para reconstruir otras imágenes obtenidas por predicción con compensación de movimiento en el decodificador, y calcula una señal de error que se añade a la señal de predicción.

3.3.4.7 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DECODIFICACIÓN MPEG-2

Como ya se ha dicho, la decodificación es más sencilla que la codificación, ya que no tiene que efectuar alguna estimación de movimiento, que es una de las partes más complejas del codificador.

El esquema de bloques del decodificador de la Figura 3.23 es el que se va a analizar para MPEG-2.

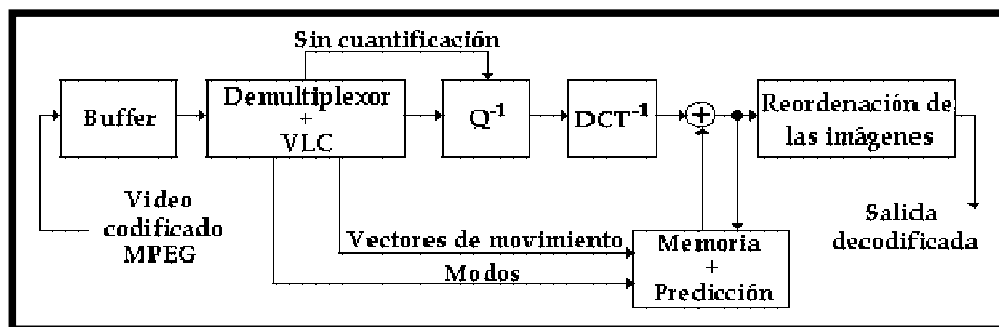


Figura 3.23: ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL DECODIFICADOR MPEG-2

La memoria intermedia (buffer) de entrada recibe los datos del canal de transmisión, y el decodificador lee el tren binario hasta encontrar el principio de una imagen, su tipo (I, P o B) y su estructura (frame o field).

Empieza la decodificación con la primera imagen I, almacenándola en su memoria, así como la imagen P siguiente, para servir de referencia a las imágenes P o B que dependen de ella.

Para las imágenes I, la decodificación propiamente dicha consiste en aplicar a cada bloque la decodificación VLC, la decuantificación de los coeficientes y la transformación DTC inversa.

Para las imágenes P o B, este proceso consiste en construir la predicción de cada macrobloque a partir de su tipo, de los vectores de movimiento y de las imágenes de referencia memorizadas. El decodificador lee, decodifica y decuantifica los coeficientes DTC del error de predicción transmitido para cada bloque de 8x8 píxeles, y, después de la transformada DTC inversa, añade el resultado a la predicción.

La reconstrucción de la imagen se efectúa cuando todos los macrobloques han sido tratados.

La última etapa de la decodificación es poner las imágenes en el orden inicial de visualización.

Como se vio anteriormente, la necesidad de memoria para el decodificador es de unas 3 imágenes (dos imágenes de referencia más la imagen en vía de reconstrucción), siendo para una imagen 4:2:0, de aproximadamente 16 Mbits.

3.4 TV DIGITAL VÍA SATÉLITE

El sistema de transmisión de señales vía satélite ha sido diseñado para difusión y distribución de servicios de TV utilizando las bandas de FSS y DBS. éste proporciona tanto posibilidad de recepción individual (sistemas DTH) como colectivo (cable y SMATV). (ver figura 3.24)

El sistema usa una protección contra errores concatenando un código de bloque (Reed Solomon 188,204) y un código convolucional (Viterbi).

El sistema de modulación que se emplea en la transmisión vía satélite debe tener en cuenta la gran atenuación del medio, la limitación en potencia del transmisor y el ruido atmosférico. Por ello la modulación no debe incorporar ningún tipo de información en la amplitud de la señal para evitar el ruido atmosférico y debe ser robusta, a expensas de perder cierta capacidad de eficiencia espectral.

La modulación elegida para la transmisión vía satélite ha sido QPSK, pues reúne las características antes mencionadas (robustez frente al ruido e información enviada en las variaciones de fase de la señal).

La diferencia fundamental entre la transmisión analógica por satélite y la TV digital por satélite estriba en que la señal moduladora, es decir, la señal en banda base, en el caso analógico es la señal de vídeo y en el caso digital es MPEG-2-TS, lo que aumenta considerablemente la eficiencia espectral, no por la modulación, sino por la compresión MPEG-2.

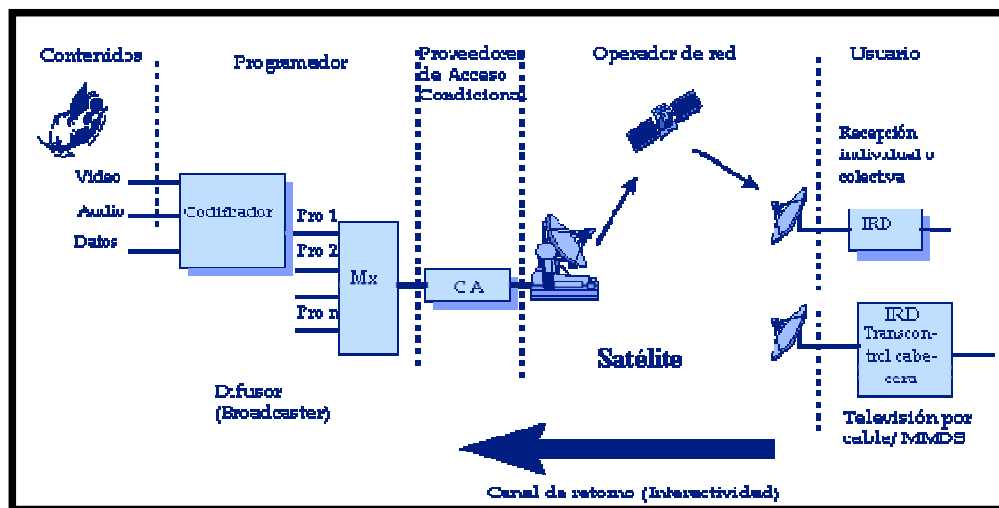


Figura 3.24: CADENA DE TRANSMISIÓN DE TV DIGITAL POR SATELITE

3.4.1 LA INFORMACIÓN DE SERVICIO (SI):

El estándar DVB amplía el campo PSI (Información específica de programa) de la trama MPEG, con tablas privadas que engloban lo que se conoce como información de servicio.

El contenido de estas tablas permite al IRD sintonizar automáticamente un servicio concreto y agrupar servicios en categorías. De este modo se consigue el acceso a la Guía Electrónica de Programación (EPG).

La PSI permite conocer la localización de programas multiplexados en el propio flujo de transporte de cada transpondedor. Sin embargo, la SI también contiene información sobre los programas que viajan en otros transpondedores e incluso sobre los que viajan por otras redes.

Las tablas anteriormente especificadas son:

- Tabla de asociación de *bouquet* (BAT) . Proporciona los distintos nombres de *bouquets* (colección de servicios ofertados por una misma identidad), y la lista de servicios de cada uno de ellos.
- Tabla de descripción del servicio (SDT) . Describe cada uno de los nombres y otros parámetros asociados con cada servicio de una determinada trama MPEG.

- Tabla de información de eventos (EIT) . Contiene información sobre la hora de inicio, duración, etc., de cada transmisión concreta (evento).

- Tabla de estado de funcionamiento (RST) . Informa sobre el desarrollo de los distintos eventos en curso. Esta información es enviada solo una vez, cuando el estado de un evento cambia, a diferencia del resto de tablas de la SI, que son transmitidas repetitivamente.

- Tabla de tiempos y fechas (TDT). Es usada para el reloj interno de los IRD.

- Tabla de tiempo de offset.

- Tabla de relleno (ST). Se usa para alterar los límites en algunas secciones del servicio.

3.4.2 LA EPG (*Electronic Program Guide*)

Suministra al abonado toda la información sobre los programas y servicios difundidos por la plataforma proveedora. A través del EPG se controla el funcionamiento del IRD en todo lo referente al canal sintonizado, sincronización, demultiplexión, verificación de acceso condicional y desenmascaramiento.

3.4.3 EL PROCESO DEL TS (Flujo de Transporte)

El proceso de empaquetamiento de la información concluye en la conformación de la trama de transporte MPEG-2. Para la construcción de dicha trama se usa el método de flujo de transporte, que realiza el encapsulado de la siguiente forma:

1. El vídeo, audio, y otros datos (información específica, información del servicio o datos del abonado para el acceso condicional), se insertan en los paquetes de transporte MPEG-2. Posteriormente, se invierten los bytes de sincronización cada 8 paquetes.

2. Los contenidos de cada paquete se aleatorizan (*scrambling*), a excepción de aquellos que incluyan PSI (información específica de servicio). Esto permite el acceso condicional y reporta otras ventajas, como mayor protección frente a errores, uniformizar el uso de la banda disponible y facilitar la sincronización. En DVB-S existe un estándar de enmascaramiento disponible (*Common Scrambling Algorithm*).
3. Se multiplexan varios flujos de paquetes de transporte en un flujo de transporte multiprograma.
4. se realiza la función de protección de errores en dos partes, la primera (*outer code*) con un código Reed-Salomon, que añade un 12% de *overhead* a los datos útiles, y, tras la convolución de Viterbi, se aplica otro código de tipo convolucional. Este segundo sistema de corrección de errores (*inner code*) será definido por el proveedor de servicios según sus necesidades.
5. Por último la señal se modula en QPSK para ser retransmitida a través del transpondedor del satélite.

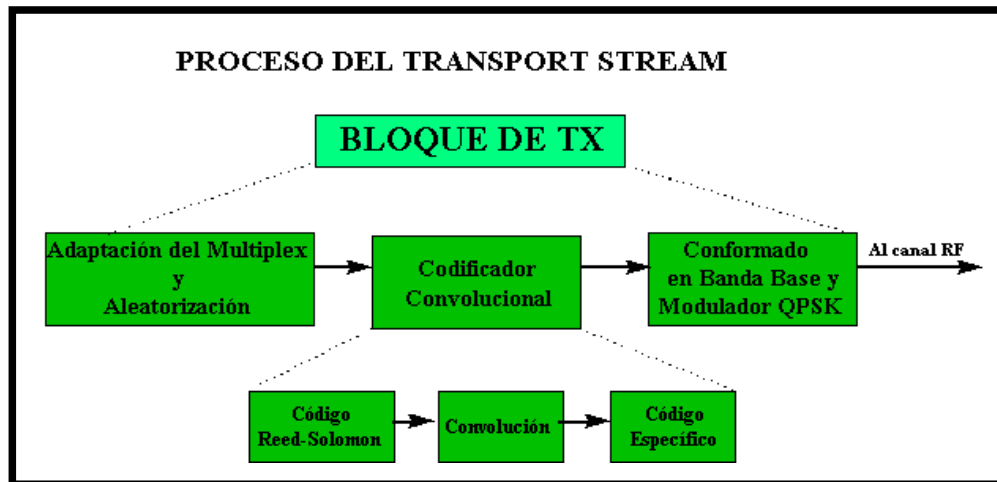


Figura 3.25: ESQUEMA DEL PROSESO DE TRANSPORTE STREAM

Con este proceso realizado entre la multiplexación y la transmisión física, la señal se adecua a las propiedades del canal concreto (ver figura 3.25). El sistema se diseña para hacer frente a los errores que se produzcan en el canal: la aleatorización minimiza los efectos de los errores tipo ráfaga, y son añadidas posteriormente otras dos capas de protección de errores. El *inner code* se diseñará según las características de transmisión concretas de cada plataforma (potencia, tasa de error del canal...). Un ejemplo podría ser el uso de un código convolutional 3/4 para una transmisión a través de un transpondedor de 36 MHz, con lo que se conseguiría una tasa de la carga útil de unos 39 Mbps.

3.4.4 LA CAPACIDAD DE LOS SATÉLITES

El estándar DVB-S puede utilizarse con satélites dotados de transpondedores con anchos de banda entre 26 y 72 MHz. Esto incluye satélites como Astra, Hispasat, Eutelsat, Telecom, Tele-X, Thor, TDF, DFS, etc.

Un ancho de banda usual para un transpondedor de un sistema de satélites de DBS (Difusión directa por satélite) es de 36 MHz. En este ancho de banda es posible usar una modulación de datos de 28 millones de símbolos por segundo. Con 4-QPSK la capacidad de transmisión de un transpondedor será de unos 56 Mbps. Descontando los bits en exceso introducidos por la corrección de errores Reed-Salomon y la convolución de Viterbi, la velocidad útil sería de 39 Mbps. Esto supone, típicamente, 8 canales digitales por transpondedor.

3.4.5 SISTEMAS DE ACCESO CONDICIONAL (CA)

El área de acceso condicional comprende distintos aspectos:

- El algoritmo de cifrado del programa o servicio específico.
- El algoritmo de aleatorización del flujo de datos.
- El Sistema de Gestión de Abonado (SMS), con todos los datos del abonado respecto a un determinado programa o servicio.
- El Sistema de Autorización de Abonado (SAS), que codifica y suministra los códigos clave para hacer posible la decodificación de la señal.

Estas tareas se hayan dispersas entre el centro emisor (cifrado), un sistema distribuido (bases de datos, sistema de gestión y autenticación), y la residencia del abonado (módulo de acceso condicional del IRD).

De todos estos subsistemas, la norma DVB tan sólo estandariza el mecanismo de aleatorización del flujo de datos (Algoritmo de Aleatorización Común), e incluye la posibilidad de incorporar un Interfaz Común en el IRD para la coexistencia de distintos esquemas de acceso condicional.

El resto de los componentes se consideran como productos comerciales a ofrecer en un entorno de competencia.

El proceso de acceso condicional es el siguiente : un abonado contrata un cierto servicio, la petición de alta se envía a través del canal de retorno (vía RTC) al proveedor del servicio. Dicho proveedor utiliza el SMS para dar de alta al abonado y tarificar la suscripción. El SAS proporciona nuevos datos a la trama MPEG para permitir el acceso al servicio en cuestión. El abonado debe disponer de una tarjeta inteligente donde se encuentra la verificación de la clave de acceso enviada por el sistema. De esta forma se hace posible la decodificación condicional de la señal.

El DVB contempla dos estrategias diferentes para el acceso condicional :

3.4.5.1.- MULTICRYPT.

Consiste en utilizar el estándar de Interfaz Común en el IRD, de forma que se puedan usar simultáneamente varias tarjetas inteligentes. El usuario puede, entonces, acceder a todos los servicios condicionales, siempre que disponga de la tarjeta del proveedor correspondiente y el sistema sea compatible.

El IRD se separa en dos bloques : el bloque encargado de las funciones comunes de recepción y demultiplexado ; y el que se encarga de las

funciones exclusivas de cada sistema de acceso condicional, incluido en un módulo enchufable externo. Ambos están interconectados mediante un bus PCMCIA. El módulo externo puede desarrollarse a un coste que no suponga excesivas inversiones para el usuario, de forma que pueda abonarse a una nueva plataforma sin cambiar el IRD.

Es un sistema que no requiere acuerdos entre operadores, a menos que el IRD esté subvencionado por uno de ellos.

3.4.5.2.- SIMULCRYPT.

No estandariza cómo debe ser la conexión de los módulos de acceso condicional dentro del IRD. Esta solución supone que un operador suministra al usuario un IRD en el que incluye su propio sistema de acceso condicional. Al tratarse de una plataforma propietaria se establecen acuerdos entre los diferentes sistemas de acceso condicional de forma que es posible usar un número limitado de tarjetas con accesos condicionales válidos en esa plataforma. Esta sería la versión "débil" del Simulcrypt.

Otra posibilidad sería que el acuerdo entre los distintos proveedores se realice en cuanto a contenidos, usando el mismo tipo de acceso condicional (misma tarjeta). Esta sería la versión "fuerte".

El modelo llamado de "interfaz común controlado" supondría favorecer la aparición del Interfaz Común, aunque durante un tiempo prudencial el acceso condicional sólo fuera posible a través de la tarjeta del proveedor que ha hecho la inversión.

La tarjeta inteligente, habitualmente del tipo PCMCIA, procesa el flujo MPEG-2 de transporte antes de ser demultiplexado. Si hay varias tarjetas insertadas, pasa secuencialmente por todas ellas hasta que alguna es capaz de extraer la información de descifrado. Entonces esta tarjeta toma el control de las operaciones de desenmascaramiento.

La tarjeta debe tener una serie de funcionalidades que faciliten su operación, como configuración remota, acceso al canal de retorno interactivo, mecanismos de pago por el servicio, iniciación automática de llamada, número de identificación personal, y campos configurables, como región de acceso, idioma, tipo de abonado, etc.

Simulcrypt y multicrypt ilustrados en la figura 3.26.

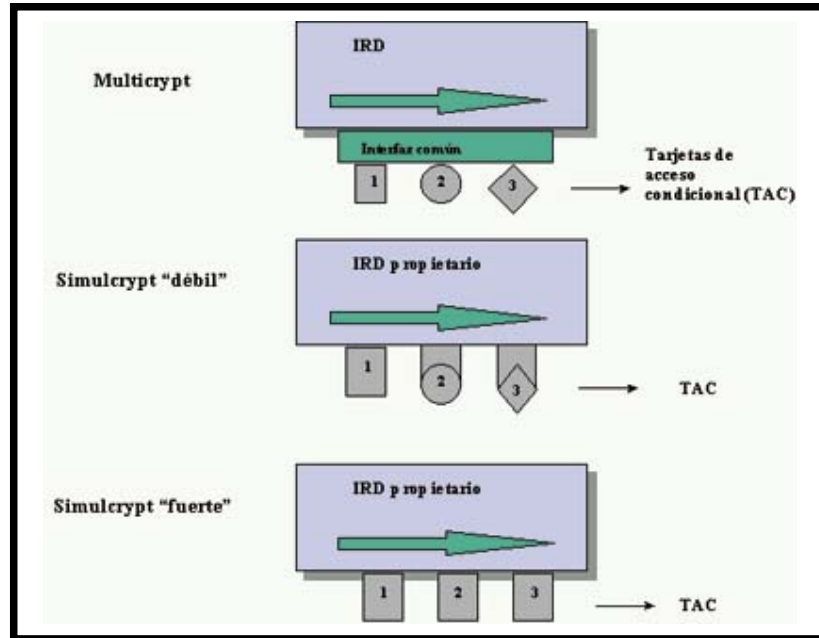


Figura. 3.26: GRAFICO REPRESENTATIVO MULTICRYPT Y SIMULCRYPT

3.4.6 EL IRD (Receptor Decodificador Integrado)

El IRD es el elemento necesario para convertir la señal digital procedente del satélite en una de naturaleza compatible con los receptores de TV analógica convencionales.

Las funciones del IRD son recuperar y corregir los errores procedentes de la antena receptora, controlar el acceso del usuario a programas y servicios en función de un sistema de claves que permite la decodificación de la señal, y

realizar inteligible la señal de vídeo y audio mediante el desenmascaramiento (*descrambling*).

Para ello dispone de un demodulador QPSK (única parte con componentes analógicos del sistema), un decodificador de Viterbi, corrección de errores Reed-Salomon, un demultiplexor para separar los diferentes canales, un decodificador de vídeo y audio MPEG-2, conversores D/A, modulador PAL, interfaces con tarjetas inteligentes y otros periféricos, todo ello gobernado por una CPU, como se muestra en la figura 3.27.

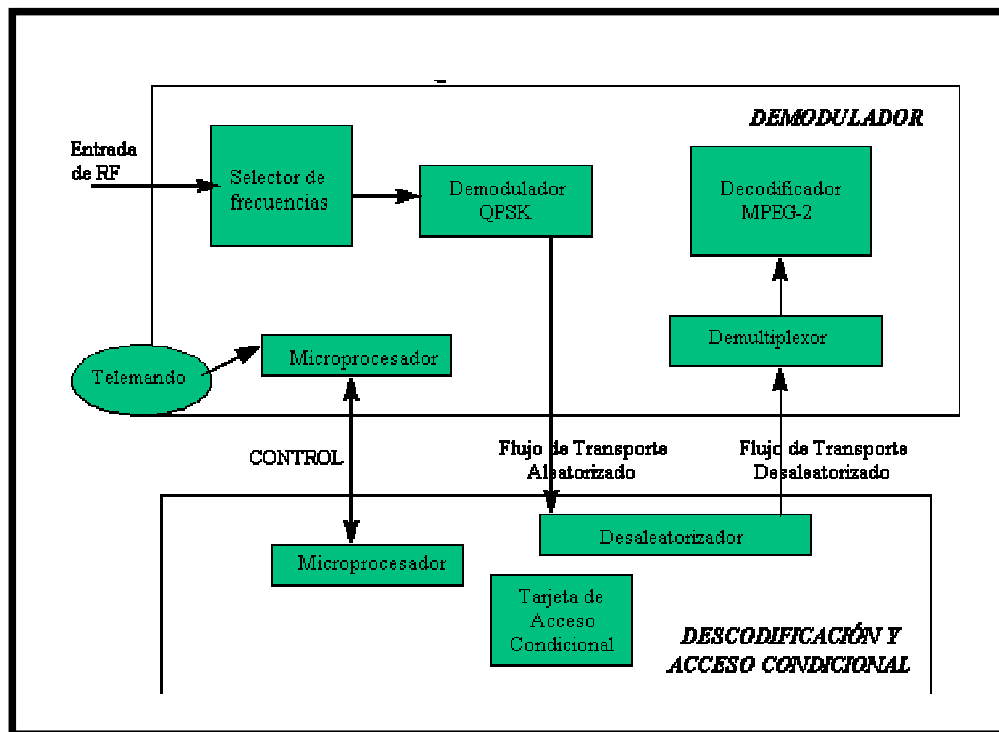


Figura 3.27: ESQUEMA DE UN IRD

3.5 APLICACIONES INTERACTIVAS EN TV DIGITAL

Presentan las siguientes características:

- Requieren una concepción totalmente nueva.
- Nuevas interfaces de usuario con nuevos paradigmas (teclado)
- Principalmente del tipo "push".
- Asociadas en muchos casos a la programación de TV
- Se debe tener muy en cuenta las capacidades gráficas del receptor:
baja resolución, entrelazados,...
- Se suele hacer uso a una distancia muy superior a la de un PC
- Aplicaciones concebidas para ofrecerse a través del TV

Estas aplicaciones pueden ser:

1. **Realización conjunta (RC)**, emisión de un mismo programa simultáneamente en varios canales, pero con distintos aspectos del mismo en cada canal (por ejemplo, cámaras ubicadas en distintos puntos del campo durante la transmisión de un evento deportivo, varios finales distintos de una misma película, etc). Puede estar asociado a los servicios de guía electrónica de programación y de IPPV.
2. **Pague por ver instantáneo (IPPV)**, permite al usuario la suscripción instantánea a un programa de TV de pago. La suscripción se realiza a través del control remoto, siendo el descodificador el que realiza la petición de forma automática.
3. **Pago por ver (PPV)**, es un servicio de distribución de TV por el que se ofrece a los usuarios la posibilidad de pagar por ver determinados eventos televisivos. Tiene la ventaja de que el usuario paga por aquello que realmente le interesa.
4. **Quasi vídeo bajo demanda (QVBD)**, emisión de una misma programación en varios canales de TV con un desfase de tiempo entre ellos. El usuario puede “avanzar” o “retroceder” en el programa simplemente cambiando de canal, o mediante la descarga en el

descodificador del correspondiente programa, con las teclas de avance de su control remoto.

5. **Televisión interactiva**, en la lucha por la audiencia se crean servicios que ofrecen, a través, del propio televisor, interacción al espectador como son:

- Guía de programación

- Guía Radio/Música

- Concursos, participación en juegos

- Telebanca

- Telecompra

- Telecarga monedero

- Acceso Web

- Publicidad sincronizada

- Publicidad personalizada
- Juegos
- Mensajería

3.6 TV ANALÓGICA vs TV DIGITAL

Con lo anteriormente visto podemos darnos una idea de las ventajas que ofrece la TV digital frente a la analógica convencional:

- a. Mayor calidad.
- b. Mantenimiento de la calidad extremo a extremo.
- c. Mayor capacidad y flexibilidad de envío de información.
- d. Servicios interactivos de altas prestaciones adaptados a cualquier entorno (empresa, doméstico, público,...)
- e. Integración de servicios: vídeo + audio + datos.

f. Nuevos servicios.

3.7 CARACTERÍSTICAS DE LA TRANSMISIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL DE RED ABIERTA

Tradicionalmente, las transmisiones ocasionales de red abierta se han cursado mediante la tecnología analógica y el canal 12 del haz global en banda C, con portadoras RF de TV/FM ya sea de medio transpondedor (17,5/20 MHz) o de transpondedor completo (30 MHz). Sin embargo, la p.i.r.e. limitada de los transpondedores de haz global en banda C impone la utilización de estaciones terrenas de acceso grandes con antenas de un diámetro de al menos 11 metros para que la calidad de recepción sea adecuada.

Gracias a los logros tecnológicos de los últimos años en materia de técnicas de procesamiento y compresión de imágenes digitales, es ahora posible transmitir señales de TV digital con una calidad de imagen visualmente superior a la de la TV analógica tradicional. Para lograr esta calidad superior bastan velocidades de transmisión de información y niveles de potencia tan bajos que con ellos se pueden cursar canales de TV digital múltiples (> 2) por transpondedor global en banda C de 41 MHz, en vez de solamente dos portadoras de TV/FM de 20 MHz como en la actualidad. Además de un uso

más eficiente del segmento espacial, las técnicas digitales permiten la utilización de estaciones terrenas más pequeñas, transportables y menos costosas, que facilitan el uso de la aplicación de periodismo electrónico por satélite (SNG).

3.7.1 ANCHO DE BANDA PARA TV DIGITAL

El tramo de ancho de banda depende de la velocidad de transmisión de información, la relación de codificación, la G/T de la estación terrena de recepción y de las características del trayecto de transmisión .

3.7.1.1 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN MÁXIMA EN UN TRAMO DE ANCHO DE BANDA

El ancho de banda que ocupa una portadora de TV digital depende de la velocidad de símbolos y de las características de filtrado del módem. A fin de reducir al mínimo la interferencia entre portadoras adyacentes, se debe controlar la energía espectral correspondiente al ancho de banda asignado de una portadora adyacente. Así, cuando se trata de una portadora, se define un “ancho de banda asignado” de tal modo que la energía total que sobresalga de ese ancho de banda no provoque una interferencia de portadoras adyacentes excesiva. Se supone que, en lo que respecta a los módems QPSK modernos con técnicas de filtrado digitales, la relación que existe entre la velocidad de transmisión de información, la relación de FEC, la duración de un símbolo y el ancho de banda asignado es la siguiente:

$$T = (2 \times \text{relación FEC}) / R_U$$

$$B_{occ} = 1,0 / T$$

$$B_{alc} = 1,35 / T$$

donde: R_U = Velocidad de transmisión de información utilizable.

(La velocidad de transmisión utilizable (R_U) incluye: la relación de codificación de vídeo, la velocidad del canal audio, y los bitsios suplementarios del empaquetado, del acceso condicional, de la cuantificación y de la temporización asíncrona)

Relación FEC = Relación de corrección de errores sin canal de retorno

= 0,921569 x relación del código interno convolucional

[RS (204, 188, T=8) con código externo concatenado]

T = Duración del símbolo

Bocc = Ancho de banda ocupado o de ruido IF

Balc = Ancho de banda asignado

FEC	Velocidad de información máxima utilizable (R_U) (Mbps)				
	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
Ancho de banda de portadora asignado (MHz)					
2,25	1,5360	2,0480	2,3039	2,5599	2,6879
4,5	3,0719	4,0959	4,6079	5,1199	5,3759
6,0	4,0959	5,4612	6,1439	6,8265	7,1678
9,0	6,1439	8,1918	9,2158	10,2398	10,7517
18,0	12,2877	16,3836	18,4316	20,4795	21,5035
24,0	16,3836	21,8448	24,5754	27,3060	28,6713
36,0	24,5754	32,7672	36,8631	40,9590	43,0070
41,0	27,9887	37,3182	41,9830	46,6478	48,9801

Tabla 3.2: VELOCIDAD DE INFORMACIÓN MÁXIMA UTILIZABLE (R_U) EN EL ANCHO DE BANDA DE PORTADORA ASIGNADO

En la tabla 3.2 se indica la velocidad de transmisión de información máxima con respecto a la relación de FEC convolucional interna seleccionada que puede cursarse en los tramos de ancho de banda disponibles. Los valores que figuran en la tabla 3.2 representan una velocidad de transmisión de información máxima absoluta que puede cursarse con un determinado tramo de ancho de banda y que no toma en cuenta las características del trayecto de transmisión de RF descrito a continuación.

3.7.1.2 TRAMO DE ANCHO DE BANDA NECESARIO

El tramo de ancho de banda necesario depende no sólo de la duración de símbolo de la portadora, sino también de las características del trayecto de transmisión de RF, a saber, de la G/T de la estación terrena de recepción, de la ubicación geográfica de las estaciones terrenas corresponsales y de las estadísticas de propagación del trayecto en enlace ascendente y descendente.

En el caso de los enlaces de transmisión para los que se necesitan recursos de transpondedor superiores a los que se indican en la tabla 3.2, se asignará el tramo de ancho de banda mínimo con recursos de transpondedor

suficientes para cumplir los objetivos de calidad de servicio descritos en el párrafo 3.7.1.4

3.7.1.3 TASA DE ERRORES EN LOS BITIOS DEL MÓDEM/CÓDEC

El módem deberá ajustarse a las especificaciones de DVB-S. Deberá usarse un código interno de codificación convolucional /descodificación Viterbi de relación 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 ó 7/8 junto con un código externo (profundidad de intercalado de 12) Reed- Solomon (204,188). Se usará la técnica de modulación QPSK. En el cuadro 3.2 se indica el rendimiento de E_b/N_0 de IF máximo definido por la norma DVB-S a fin de conseguir una BER de 2×10^{-4} en la entrada del decodificador Reed Solomon.

Relación de codificación de la FEC interna	E_b/N_0 umbral con $BER=2 \times 10^{-4}$ (Salida del decodificador Viterbi) (dB)		Margen del sistema (dB)	E_b/N_0 (RF) con cielo despejado (dB)
	IF	RF		
1/2	4,5	4,9	2	6,9
2/3	5,0	5,4	2	7,4
3/4	5,5	5,9	2	7,9
5/6	6,0	6,4	2	8,4
7/8	6,4	6,8	2	8,8

Tabla 3.3: PARÁMETROS DEL CÓDEC/MÓDEM DE TV DIGITAL

3.7.1.4 CALIDAD DE SERVICIO

En la tabla 3.3 se indica la Eb/No que se ofrecerá en condiciones de cielo despejado. En el enlace se incluye un margen de sistema de 2 dB por encima de lo que se necesita para conseguir una BER de 2×10^{-4} en la entrada del decodificador Reed- Solomon. Con un enlace normal la BER será de 10^{-10} o mejor en la salida del decodificador Reed-Solomon durante 99,8% del año (disponibilidad de un 99,8%). La BER en condiciones de cielo despejado será de 10^{-13} o mejor.

3.7.2 BANDA BASE

La norma de TV digital se basa en las especificaciones MPEG-2 y DVB, ambas mundialmente reconocidas y utilizadas por los fabricantes de equipos de TV digital.

3.7.2.1 CODIFICACIÓN DE VÍDEO

La codificación de la señal original de vídeo deberá cumplir el perfil principal del nivel principal (MP@ML) de la norma MPEG-2 de acuerdo con la Rec. del UIT-T H.262.0 (ISO/IEC 13818-2).

3.7.2.2 CODIFICACIÓN DE AUDIO

La codificación de la señal original de audio deberá ajustarse a las capas 1 ó 2 de la norma MPEG-2 de acuerdo con la ISO/IEC 13818-3.

3.7.2.3 INFORMACIÓN SOBRE PROGRAMAS (PSI) Y SERVICIOS

La información sobre programas (PSI) ofrece los datos que permiten activar la configuración automática del receptor a fin de desmultiplexar y descodificar los distintos trenes de programas del multiplexador. La PSI se compone de cuatro cuadros: el cuadro de asociación de programa (PAT), el cuadro del mapa de programas (PMT), el cuadro de acceso condicional (CAT) y el cuadro de información de red (NIT).

La información sobre servicios (SI) DVB es el medio de difusión de la información sobre los programas y servicios disponibles al receptor y, en última instancia, al usuario final. Con la SI el usuario final puede elegir entre distintos programas y el descodificador puede autoconfigurarse para

descodificar el programa seleccionado. La SI añade datos complementarios que contribuyen a la sintonización automática de los IRD y a suministrarle datos adicionales al usuario.

La PSI y la SI deberán cumplir las condiciones pertinentes especificadas en las normas MPEG-2 y DVB, respectivamente. Es obligatorio mantener los siguientes cuadros:

PAT	Cuadro de asociación de programa	}	MPEG-2
PMT	Cuadro de mapa de programas		
CAT	Cuadro de acceso condicional		
NIT	Cuadro de información de red		
SDT	Cuadro de descripción de servicio	}	DVB-SI
TDT	Cuadro de hora y fecha		
EIT	Cuadro de información de eventos		

3.7.3 REQUISITOS DE DESEMPEÑO ADICIONALES APLICABLES A LAS ESTACIONES TERRENAS UTILIZADAS PARA TELEVISIÓN DIGITAL

Las estaciones terrenas que reciban o transmitan portadoras de TV digital deberán cumplir los requisitos de desempeño de RF de las estaciones

terrenas de norma G contenidos en la documentación IESS-601 para las estaciones terrenas INTELSAT.

3.7.3.1 POTENCIA ISÓTROPA RADIADA EQUIVALENTE (p.i.r.e.)

La p.i.r.e. que se necesitará por portadora en condiciones de cielo despejado dependerá de la sensibilidad del satélite, de la ubicación geográfica de las estaciones de transmisión y de recepción, de la G/T de la estación terrena de recepción, de la velocidad de transmisión de información y de la FEC. Por lo tanto, la p.i.r.e. nominal en enlace ascendente podría variar ocasionalmente y se fijará en coordinación con el Centro de Control Técnico y de Operaciones (TOCC).

3.7.3.2 RESTRICCIONES EN MATERIA DE EMISIÓN. DENSIDAD DE EMISIÓN FUERA DEL EJE

La densidad de emisión fuera del eje radiada por una estación terrena no deberá rebasar los límites definidos por la Rec. del UIT-R S.524-5. Esta condición impone ciertas limitaciones en las conexiones de estación terrena a estación terrena que puedan establecerse y podrían ser un factor de peso en las aplicaciones de periodismo electrónico por satélite.

3.7.3.3 EMISIONES PARÁSITAS CUANDO NO ESTÁ ACTIVADA LA PORTADORA

La p.i.r.e. provocada por tonos parásitos, bandas de ruido y otros productos indeseables (excluyendo los productos de intermodulación entre portadoras múltiples y la dispersión espectral debida la falta de linealidad en las estaciones terrenas) que puedan registrarse aunque no estén activadas las portadoras de TV digital no deberán superar en ningún momento los 4dBW/4kHz en la gama de frecuencias 5.850 -6.650 MHz.

3.7.3.4 EMISIONES PARÁSITAS CUANDO ESTÁ ACTIVADA LA PORTADORA

Los productos parásitos registrados en cualquier banda de 4kHz en la gama de frecuencias 5.850 -6.650 MHz, deberá situarse al menos 50 dB por debajo del nivel de una portadora no modulada (-50 dBc).

Se recomienda que al realizar el diseño se procure mantener las emisiones parásitas en la banda 5.850 - 6.650 MHz a 60 dB por debajo del nivel de una portadora no modulada (-60 dBc).

3.7.3.5 EMISIONES PARÁSITAS (PRODUCTOS DE INTERMODULACIÓN)

En el capítulo 6 se indican los límites obligatorios de p.i.r.e. aplicables a productos de intermodulación producidos por la operación en modalidad de portadoras múltiples del equipo de RF de banda ancha de estación terrena.

3.7.3.6 EMISIONES DE FUERA DE BANDA RF (LÓBULOS LATERALES ESPECTRALES DE LA PORTADORA)

A fin de limitar las interferencias en portadoras adyacentes, la densidad de p.i.r.e. fuera de la unidad de ancho de banda del satélite asignada a cada portadora que se debe a la regeneración del espectro causada por la falta de linealidad en las estaciones terrenas medida en una banda de 4 KHz, deberá situarse en al menos 26 dB por debajo de la densidad espectral de la portadora principal.

El límite citado sólo se aplica a los lóbulos laterales espectrales que podrían regenerarse debido a la falta de linealidad en las estaciones terrenas. La densidad de p.i.r.e. en la gama de frecuencias comprendida entre $0,35 R$ y $0,5 R$ Hz con respecto a la frecuencia central nominal deberá situarse en al menos 16 dB por debajo de la cresta de la densidad de p.i.r.e., medida en una banda de 4KHz, donde R es la velocidad de transmisión en bits por segundo (La velocidad de transmisión (R) se define como la velocidad binaria de entrada en un modulador QPSK en la estación terrena (a saber, después de toda codificación de corrección de errores sin canal de retorno [FEC]) y es equivalente al doble de la velocidad de símbolo.)

A fin de cumplir las condiciones establecidas en esta sección y de garantizar un buen funcionamiento del sistema, se recomienda que la reducción de potencia de salida del HPA no sobrepase en ningún momento -3dB.

3.7.4 TOLERANCIA DE LA FRECUENCIA

La información sobre tolerancia de frecuencia que se presenta a continuación tiene por objeto evitar que el operador del satélite tenga que proporcionar una onda piloto de referencia independiente para AFC. En estas condiciones, con la tolerancia de frecuencia de conversión del satélite que se presenta a

continuación, se calcula que el intervalo de tiempo entre ajustes de frecuencia de la cadena de transmisión y de recepción de la estación terrena se situará en varios meses.

3.7.4.1 TOLERANCIA DE LA FRECUENCIA RF DE LA PORTADORA

La tolerancia de la frecuencia RF máxima (incertidumbre máxima de ajuste de frecuencia inicial más deriva a largo plazo) de todas las portadoras transmitidas por la estación terrena deberá ser de $\pm 3,5$ kHz.

3.7.4.2 INVERSIÓN DEL ESPECTRO

No deberá invertirse el espectro de la portadora de RF transmitida con respecto al espectro de salida del modulador.

3.7.5 PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS

Las portadoras de TV digital cursadas en capacidad que no es de uso ocasional pueden compartir el transpondedor con otros tipos de portadoras

(por ej. IDR). Se deben diseñar las estaciones terrenas de modo que puedan recibirse portadoras aún si hay portadoras adyacentes.

Se recomienda que las estaciones terrenas destinadas a ser utilizadas a tiempo parcial u ocasionalmente se diseñen de manera que los cambios de frecuencia de transmisión y de recepción puedan ejecutarse rápidamente.

Las estaciones equipadas con sintetizadores deberían poder transmitir y recibir portadoras cuya separación entre frecuencias es un múltiplo de 22,5 kHz (en el caso de portadoras hasta los 8,448 Mbps incluidos). La separación entre frecuencias basada en 125 kHz podrá utilizarse en el caso de portadoras cuya velocidad de transmisión de información baje a 2,048 Mbps. Las frecuencias de portadoras que vayan a utilizarse efectivamente se determinarán en consulta con el operador del satélite.

3.7.6 RUIDO DE FASE

3.7.6.1 ESTACIÓN TERRENA (TRANSMISIÓN)

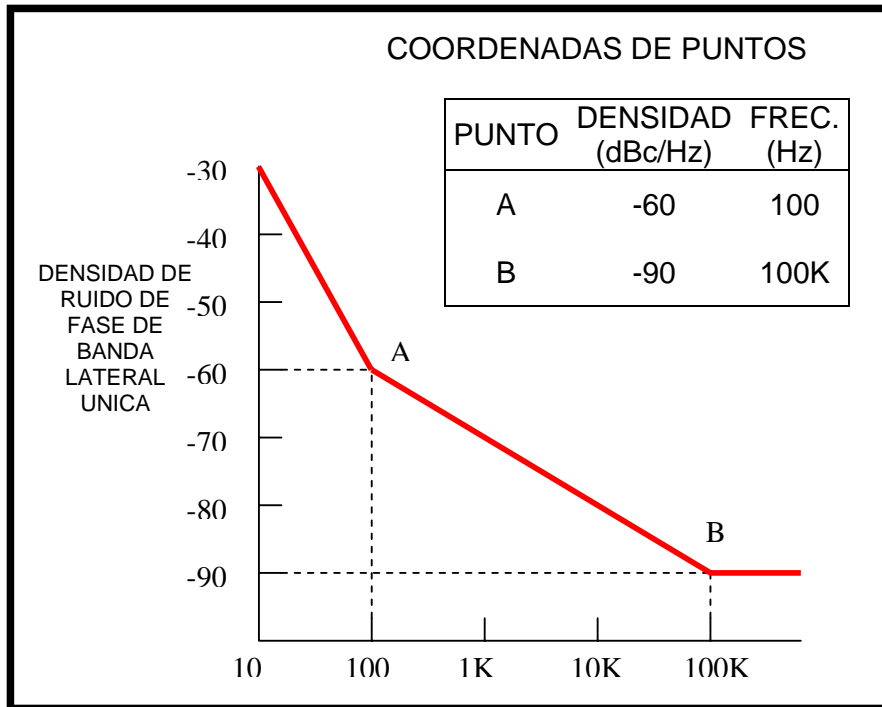
El ruido de fase de banda lateral única en la portadora transmitida deberá cumplir una de estas dos restricciones:

Restricción 1: Se parte de la hipótesis de que el ruido de fase de banda lateral única se compone de un elemento continuo y de uno parásito. La densidad espectral de potencia de banda lateral única del componente continuo no deberá sobrepasar el envolvente que aparece en la Figura 3.28. En la frecuencia de línea de CA fundamental, ningún componente parásito deberá superar los -30 dBc con respecto al nivel de la portadora transmitida. La suma de banda lateral única (efectuada en base a la potencia) de todos los demás componentes parásitos no deberá sobrepasar los -36 dB con respecto al nivel de la portadora transmitida. (El ruido de fase total contando las dos bandas laterales podrá situarse como máximo en 3 dB más); o

Restricción 2: no deberá superar los 2,2 grados eficaces el ruido de fase de banda lateral única debido a los componentes continuo y parásito integrados en el ancho de banda de 100 Hz a $0,3 R$ Hz con respecto a la frecuencia central, donde R es la velocidad máxima de transmisión de la portadora en bits por segundo (una vez aplicada la FEC) que se transmitirá. El ruido de fase total debido a las dos bandas laterales no deberá sobrepasar los 2,8 grados eficaces.

Se ofrece la posibilidad de cumplir una de estas dos condiciones a fin de tener en cuenta el hecho de que las distribuciones del espectro del ruido de

fase pueden variar, si bien producen el mismo efecto general una vez integradas.



3.7.6.2 ESTACIÓN TERRENA (RECEPCIÓN)

El desempeño del ruido de fase de la estación terrena deberá ser compatible con un funcionamiento apropiado del sistema de recuperación de portadoras del desmodulador teniendo en cuenta el ruido de fase admisible que puedan

producir la estación terrena correspondiente y el satélite. Se recomienda como mínimo que el equipo de recepción de estación terrena también cumpla las especificaciones de ruido de fase del equipo de transmisión de estación terrena descritas en el párrafo anterior.

CAPITULO IV

PRINCIPIOS DE RADIOPROPAGACION

4.1 INTRODUCCIÓN

Cuando los transmisores y los receptores son móviles, como el radio de doble vía o teléfono móvil, o la separación entre ellos es muy distante como por ejemplo terrenos desértico montañas robustas o espacios de aguas extensas, etc.; de tal manera que la comunicación entre ellos es impráctico e imposible a través de un medio físico como el cable metálico, entonces las ondas electromagnéticas pueden ser propagadas desde la antena transmisora hasta la antena receptora a través o a lo largo de la superficie de la Tierra, por medio de la atmósfera terrestre o fuera de ella, o por el uso de reflectores naturales o artificiales.

La propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre, a menudo, se llama propagación de la radiofrecuencia o simplemente propagación de radio.

Hay tres formas de propagación de las ondas de las ondas electromagnéticas: ondas de tierra, ondas de línea de vista¹ (que incluye tanto las ondas directas como las ondas reflejadas a tierra) y las ondas ionosféricas. Vea Figura. 4.1.

En la atmósfera terrestre, la propagación del frente de onda puede alterarse por el espacio libre por efectos ópticos como la refracción, reflexión, difracción e interferencia. Utilizando una terminología no científica, la refracción puede describirse como un doblamiento; la reflexión, como un salto; la difracción, como esparcimiento y la interferencia, como una colisión.

Debido a que la luz es una onda electromagnética a alta frecuencia, tiene sentido decir que las propiedades ópticas también se aplican a propagación de ondas de radiofrecuencia. Aunque los principios ópticos pueden analizarse completamente por la aplicación de las ecuaciones de Maxwell, esto es necesariamente complejo. Para la mayoría de las aplicaciones, el trazo de rayos geométricos se pueden sustituir por el análisis de las ecuaciones de Maxwell.

¹ A las ondas línea de vista como a las ionosféricas se encuentran en el grupo de las llamadas ondas espaciales.

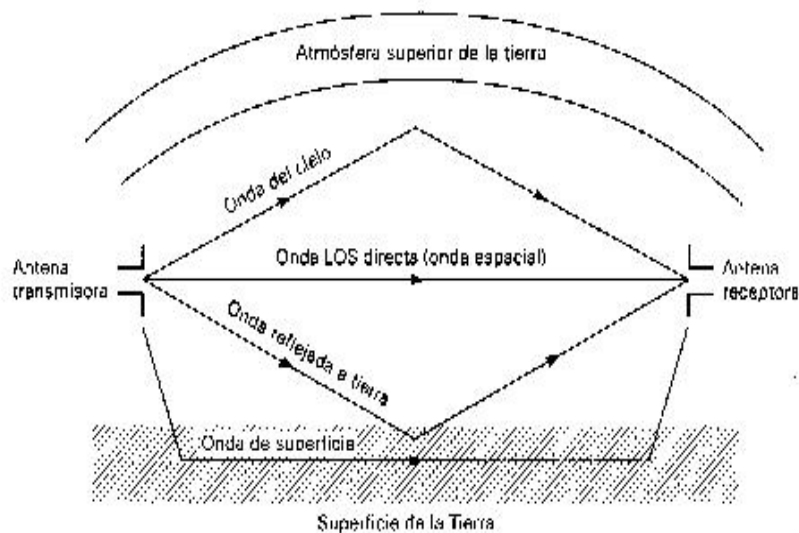


Figura 4.1 MODOS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS

4.2 PROPAGACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EN EL ESPACIO LIBRE

El modelo de propagación en el espacio libre predice los niveles de la señal, cuando la trayectoria de la misma entre la antena transmisora y la antena receptora, no se encuentra obstruida (claridad). Esta puede ser tratada como la propagación de un rayo en que la radiación es uniforme en todas las direcciones partiendo de una fuente puntual (radiador isotrópico)².

La energía radiada pasa con una intensidad uniforme a través de todas las porciones de superficie esféricas imaginarias localizadas a cierta distancia **d**

desde la fuente. El área de tal superficie es de $4\pi d^2$ y la densidad de potencia por unidad de área es:

$$s = \frac{P_t}{4\pi d^2} \quad (4.1)$$

Donde P_t es la potencia total irradiada por la fuente isotrópica. Aunque, es más usual medir la intensidad de radiación en términos de la intensidad del campo eléctrico E , que en términos del flujo S . La densidad de flujo de potencia S es también igual a la razón del cuadrado del campo eléctrico y la impedancia del medio, de manera tenemos:

$$s = \frac{E^2}{\eta} \quad [\text{W/m}^2], \quad (4.2)$$

Si consideramos la ganancia de la antena transmisora G_t , la densidad será entonces:

$$s = \frac{P_t \times G_t}{4\pi d^2} \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.3)$$

Considerando el espacio libre, $\eta = 120\pi$ e igualando las dos últimas expresiones anteriores entre sí y realizando las operaciones matemáticas, tenemos que la intensidad del campo E en el espacio libre es:

$$E = \frac{\sqrt{30 \times P_t \times G_t}}{d} \quad [\text{volts/metros}] \quad (4.4)$$

² La ganancia de una antena isotrópica es igual a 1.

Donde el factor, $P_t \times G_t$ se denomina ⁴pire (potencia isotrópica irradiada equivalente), o en dB: $ERP[dBw] = P_t(dBw) + G_t(dBi)$ **(4.5)**

P_t : potencia a la entrada de la antena transmisora.

G_t : ganancia de la antena transmisora en la dirección pertinente comparada con un radiador isotrópico.

d : la distancia a un determinado punto.

Hay que recordar, que el modelo de espacio libre solamente es válido para las regiones que se encuentran en el campo lejano⁵ el cual debe ser al menos el doble de la región de campo cercano, es decir:

$$r = 2 D^2 / \lambda \quad \text{(4.6).}$$

Donde λ : longitud de onda de operación.

D: tamaño de la antena.

r: distancia de campo lejano.

*Ambos en las mismas unidades.

4.2.1 PÉRDIDAS ELEMENTALES

³ η es la impedancia intrínseca del medio.

⁴ PIRE o PEI (ERP o EIRP en inglés), es la potencia de transmisión equivalente que tendría que radiar una antena isotrópica para alcanzar la misma densidad de potencia en una dirección dada como otra antena.

⁵ Llamado también región de Fraunhofer.

La ley inversa cuadrática⁶ describe la reducción en la densidad de potencia con la distancia de la fuente. Conforme se aleja un frente de onda de la fuente, el campo electromagnético continuo, que es radiado desde esta fuente, se dispersa. Es decir, las ondas se alejan más unas de otras y, consecuentemente, el número de ondas por unidad de área disminuye. Nada de la potencia se pierde o se disipa, porque el frente de la onda se aleja de la fuente; la onda simplemente se disipará sobre un área más grande, disminuyendo la densidad de potencia. La reducción en la densidad de potencia con la distancia es equivalente a la pérdida de potencia y comúnmente se llama *atenuación de la onda*. Debido a que la atenuación se debe al esparcimiento esférico de la onda, también se llama *atenuación espacial* de la onda. Así, si asumimos que la antena receptora es una superficie esférica que capta energía del frente de onda que incide en ella, el área efectiva de la antena será:

$$A_e = \frac{G_r \times \lambda^2}{4\pi} \quad (4.7)$$

Donde: G_r = ganancia de la antena receptora.

λ = Longitud de onda de interés.

La potencia de recepción será:

$$P_r = s \times A_e \quad (4.8a)$$

⁶ $S = P_t / (4\pi d^2)$, densidad de potencia.

O también como:
$$Pr = Pt \times \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (4.8b)$$

Las pérdidas por la atenuación se definen como:

$$L = \frac{Pt}{Pr} = \left[\frac{4\pi d}{\lambda} \right]^2 \quad (4.9a)$$

O si se expresa en dB:

$$L[dB] = 20\log 4\pi + 20\log d - 20\log \lambda \quad (4.9b)$$

Cuando hay pérdidas adicionales tales como, la conductividad finita, la heterogeneidad del terreno, reflexión de la onda en el terreno, la curvatura de la tierra, etc., la expresión final de pérdidas incluirá estos factores a través de la atenuación F, así:

$$L = \left[\frac{4\pi d}{\lambda F} \right]^2 \quad (4.10)$$

O también:

$$L[dB] = 20\log 4\pi + 20\log d - 20\log \lambda - 20\log F \quad (4.11)$$

Si la transmisión se realiza en el espacio libre de obstáculos se tiene una atenuación por espacio libre y entonces las pérdidas L_o en dB serán:

$$L_o[dB] = 92.44 + 20\log d + 20\log f \quad (4.12) \quad (f \text{ en Ghz, } d \text{ en Km.})$$

$$L_o[dB] = 32.4 + 20\log d + 20\log f \quad (4.13) \quad (f \text{ en Mhz, } d \text{ en Km.})$$

4.2.2 POTENCIA RECIBIDA.

La potencia que recepta una antena de ganancia G_r , puede expresarse en función del campo eléctrico en el que se encuentra inmerso como:

$$Pr = \frac{E^2 \times \lambda^2 \times Gr}{480\pi^2} \quad [\text{Watts}] \quad (4.14)$$

Ahora bien, si se considera a la antena receptora con dipolo de media longitud de onda y cuya ganancia es 1.64 (2.15 dB) veces mayor que una antena isotrópica, se tiene:

$$Pr = (0.0186 \times E \times \lambda)^2 \quad [\text{watts}] \quad (4.15)$$

Alternativamente Pr puede expresarse en dB relativo a 1w, esto es, en dBw de la siguiente manera:

$$Pr[dBw] = E[dBu] - 20 \log f - 105.1 \quad (f \text{ en Mhz}), \quad (4.16)$$

Otra forma de expresar la cantidad de potencia que recibe una antena, es en función las pérdidas por trayectoria libre, es decir:

$$Pr[dBw] = ERP[dBw] - Lo[dB] \quad (4.17)$$

4.2.3 ABSORCIÓN

La atmósfera de la tierra no es un vacío. Al contrario, se compone de átomos y moléculas de varias sustancias, tales como gases, líquidos y sólidos. Algunos de estos materiales son capaces de absorber las ondas electromagnéticas. Una onda electromagnética se propaga por la atmósfera de la tierra, la energía es transferida de la onda a los átomos y las moléculas de la atmósfera. La absorción es análoga a una pérdida de potencia I^2R . Una vez absorbida, la energía se pierde para siempre y ocasiona una atenuación en el voltaje e intensidades del campo magnético y una reducción en la densidad de potencia.

La absorción de radiofrecuencias en una atmósfera normal depende de la frecuencia y es relativamente insignificante, debajo de aproximadamente 10 Ghz. La figura 4.2 muestra la absorción atmosférica en decibeles por kilómetro, debido al oxígeno y al vapor de agua para radiofrecuencia arriba de 10 Ghz. Puede observarse que ciertas frecuencias son afectadas, más o menos, por la absorción, creando picos y valles en las curvas.

La atenuación de las ondas no depende de la distancia de la fuente radiante, pero sí bastante de la distancia total que la onda propaga por la atmósfera.

En otras palabras, para un *medio homogéneo*⁷, la absorción experimentada, durante la primera milla de propagación, es igual que para la última milla. Además, las condiciones atmosféricas anormales tales como lluvia fuerte o neblina densa absorben más energía que una atmósfera normal.

La absorción atmosférica η para una propagación de onda de R1 a R2 es $\gamma(R2-R1)$, en donde γ es el coeficiente de absorción. Por lo tanto, la atenuación de las ondas depende del coeficiente R2/R1 y la absorción depende de la distancia entre R1 y R2.

En una situación más real (es decir, un medio no homogéneo), el coeficiente de absorción varía considerablemente con la ubicación, por lo tanto crea un problema más difícil para un sistema de transmisión.

4.3 PROPAGACION DE ONDAS DE TIERRA

Una onda de tierra⁸ es una onda electromagnética que viaja por la superficie de la tierra. Las ondas de tierra deben estar polarizadas verticalmente. Esto es debido al campo eléctrico, en una onda polarizada horizontalmente estaría

⁷ Uno con propiedades uniformes en todos los puntos.

⁸ Llamada también ondas superficiales.

paralelo a la superficie de la Tierra y dichas ondas harían cortocircuito por la conductividad del suelo.

Con las ondas de tierra, el campo eléctrico variante induce voltajes en la superficie de la tierra, que causa que circulen corrientes que son muy similares a la de una línea de transmisión. La superficie de la Tierra también tiene resistencia y pérdidas eléctricas. Por ende, las ondas de tierra se atenúan conforme se propagan.

Estas ondas se propagan mejor sobre una superficie que sea un buen conductor, como agua salada, y áreas desérticas muy áridas. Las pérdidas se incrementan rápidamente con la frecuencia. Por tanto, la propagación de ondas de tierra se limita generalmente a frecuencias por debajo de 2 Mhz. La figura 4.3 muestra la propagación de las ondas de tierra.

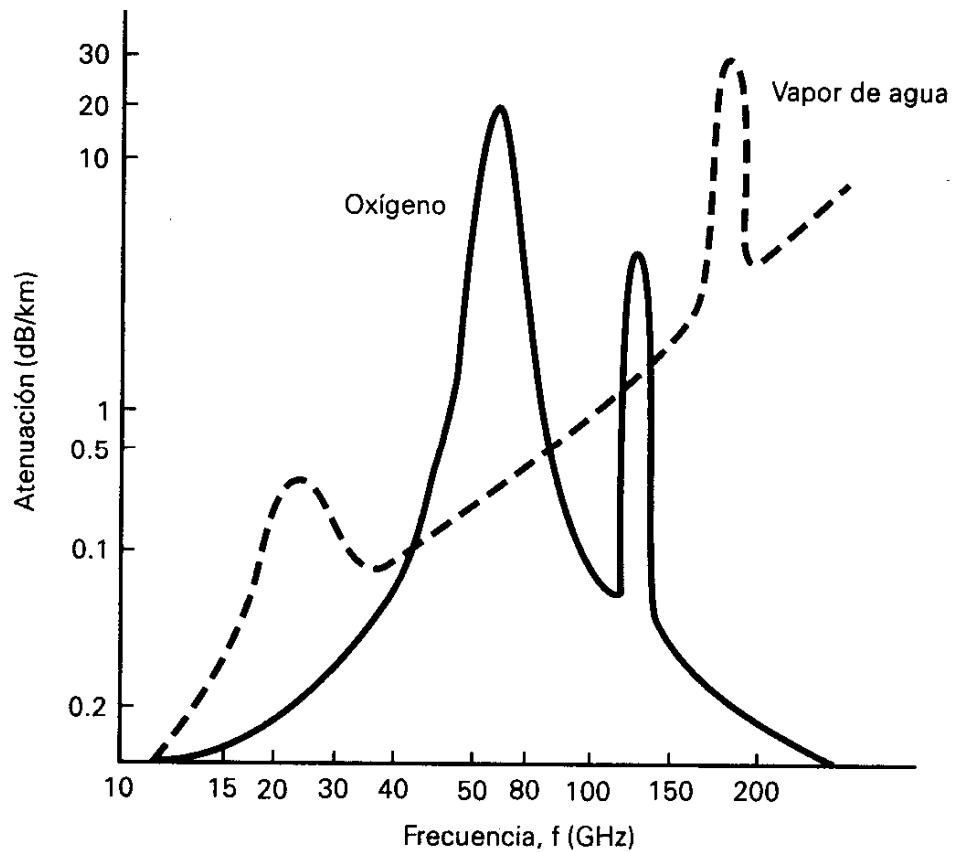


Figura 4.2: ABSORCIÓN ATMOSFÉRICA DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

La atmósfera terrestre tiene una gradiente de densidad (o sea, que se reduce gradualmente con la distancia de la superficie de la Tierra), que hace que el frente de onda se incline progresivamente hacia delante y por tanto, la onda se propaga alrededor de la tierra permaneciendo cerca de su superficie, y si transmite suficiente potencia, el frente de onda podría propagarse más allá del horizonte o hasta alrededor de la circunferencia completa de la Tierra.

Sin embargo, se debe tener cuidado al seleccionar la frecuencia y el terreno sobre el cual se propagará la onda superficial para asegurarse que el frente de onda no se incline excesivamente y, simplemente, se voltee, permanezca plana sobre la tierra, y cese de propagarse.

La propagación de ondas de tierra se utiliza comúnmente para comunicaciones de barco a barco y de barco a tierra, para la radio navegación, y las comunicaciones marítimas móviles. Las ondas de tierra se utilizan a frecuencias tan bajas como de 15 Khz.

Las desventajas de la propagación de ondas de tierra son las siguientes:

- Las ondas de tierra requieren de una potencia relativamente alta para transmisión.
- Las ondas de tierra están limitadas a frecuencias, muy bajas, bajas y medias (VLF, LF, MF) que requieren de antenas grandes.
- Las pérdidas por tierra varían considerablemente con el material de la superficie.

Las ventajas de la propagación de ondas de tierra son:

- Dan suficiente potencia de transmisión, las ondas de tierra se pueden utilizar para comunicarse entre dos ubicaciones cualesquiera en el mundo.
- Las ondas de tierra no se ven relativamente afectadas por los cambios en las condiciones atmosféricas.

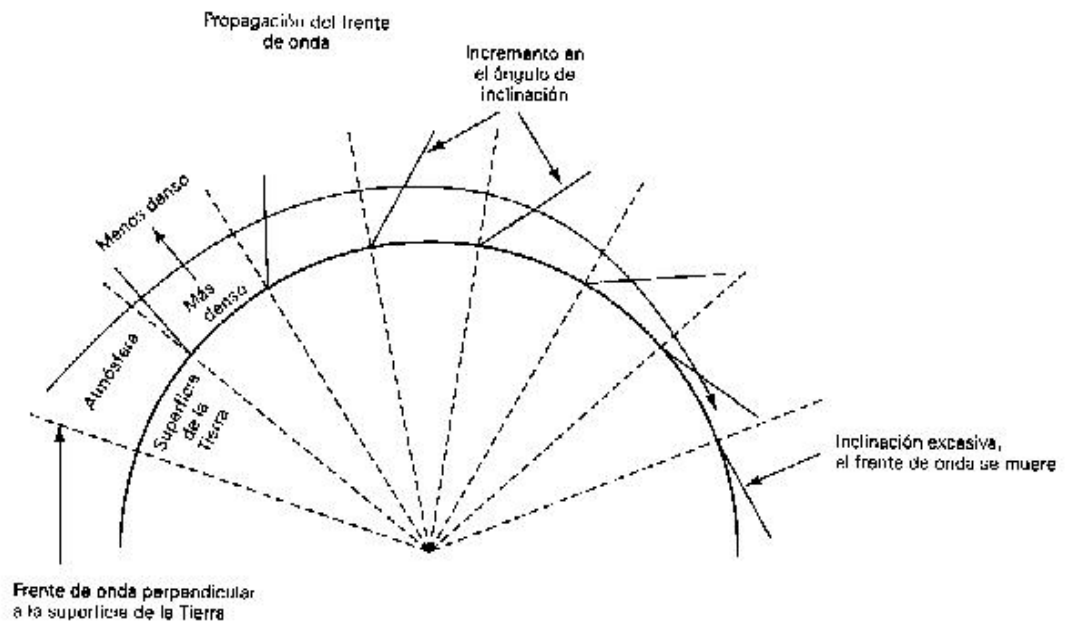


Figura 4.3: PROPAGACIÓN DE ONDAS DE TIERRA

4.4 PROPAGACION DE ONDAS IONOSFÉRICAS

Las ondas electromagnéticas que se dirigen por encima del nivel del horizonte se llaman ondas de cielo⁹. Típicamente, las ondas de cielo se irradian en una dirección que produce un ángulo relativamente grande, con respecto a la Tierra. Las ondas de cielo se envían hacia al cielo, donde son reflejadas o refractadas nuevamente a tierra por la ionosfera.

La ionosfera es la región de espacio localizada aproximadamente de 50 a 400 Km arriba de la superficie terrestre. La ionosfera es la porción más alta de la atmósfera terrestre. Por lo tanto, absorbe grandes cantidades de energía radiante del sol, que ioniza las moléculas del aire, creando electrones libres.

Cuando una onda de radio pasa a través de la ionosfera, el campo eléctrico de la onda ejerce una fuerza en los electrones libres, haciéndolos que vibren. Los electrones vibrantes reducen la corriente, que es equivalente a reducir la constante dieléctrica.

Reducir la constante dieléctrica incrementa la velocidad de propagación y hace que las ondas electromagnéticas se doblen alejándose de las regiones

⁹ Nombre como se conoce también a las ondas ionosféricas.

de alta densidad de electrones, hacia regiones de baja densidad de electrones (o sea, incrementando la refracción). Conforme la onda se mueve más lejos de la tierra, se incrementa la ionización. Sin embargo, hay menos moléculas de aire para ionizar. Por lo tanto, en la atmósfera, mas alta, hay un porcentaje más elevado de moléculas ionizadas que en la atmósfera más baja.

Entre más alta sea la densidad de iones, mayor será la refracción. Además, debido a que la composición de la ionósfera no es uniforme y a las variaciones en su temperatura y densidad, está estratificada. Esencialmente la ionósfera está conformada por tres capas (las capas D, E y F) mostradas en la figura 4.4.

4.4.1 FRECUENCIA CRÍTICA Y ÁNGULO CRÍTICO.

Las frecuencias que están por encima del rango UHF no se ven afectadas virtualmente por la ionósfera debido a que las longitudes de sus ondas son extremadamente cortas. En estas frecuencias, las distancias entre los iones son apreciablemente grandes y, en consecuencia, las ondas electromagnéticas pasan a través de ellas con poco efecto perceptible. Por lo

tanto, es lógico suponer que existe un límite superior de frecuencias para la propagación de ondas del cielo.

La *frecuencia crítica* f_c , se define como la frecuencia más alta que puede propagarse directamente hacia arriba y todavía ser regresada a la tierra por la ionósfera.

La frecuencia crítica depende de la densidad de ionización y por lo tanto varía con las horas del día y las estaciones del año. Si el ángulo vertical de radiación se reduce, las frecuencias en o sobre la frecuencia crítica aún se pueden refractar nuevamente a la superficie terrestre, porque viajarán a una distancia mayor en la ionósfera y, por tanto, dispondrán de más tiempo de ser refractadas.

Por tanto, la frecuencia crítica se utiliza solamente como una referencia para propósitos de comparación. Sin embargo, cada frecuencia tiene un ángulo vertical máximo en el cual se puede propagar y todavía ser refractada nuevamente por la ionósfera. Este ángulo se llama *ángulo crítico* θ_c , vea la figura 4.5.

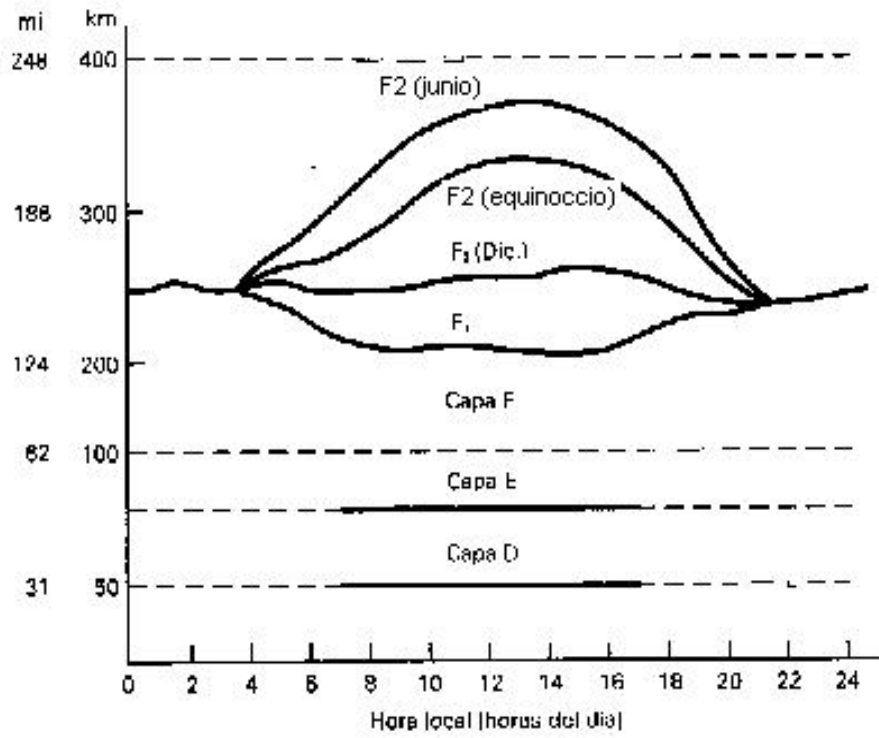


Figura 4.4: CAPAS IONOSFÉRICAS

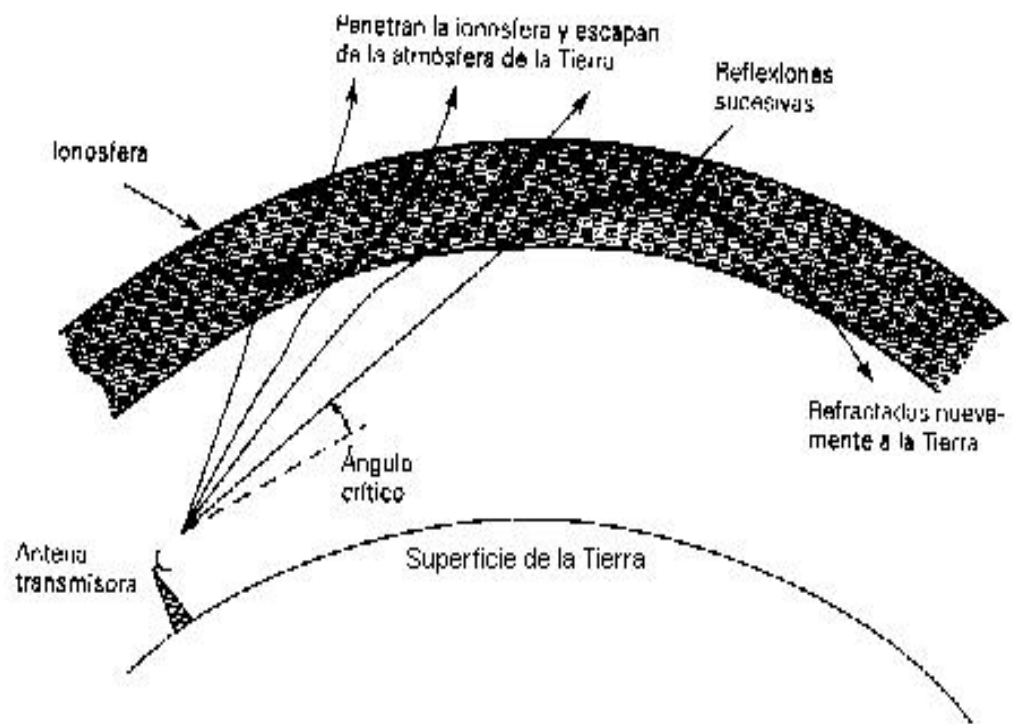


Figura 4.5: ANGULO CRÍTICO

4.4.2 ALTURA APARENTE.

La *altura virtual*, es la altura arriba de la superficie terrestre, desde donde parece que una onda refractada ha sido reflejada. La figura 4.6, muestra una onda que ha sido radiada de la superficie de la tierra hacia la ionósfera. La onda radiada se refracta nuevamente a tierra y sigue la ruta B.

La altura máxima real que alcanzó la onda es la altura h_a . Sin embargo, la ruta A muestra la ruta proyectada que podría haber tomado la onda reflejada y todavía ser regresada a tierra, en la misma ubicación. La altura máxima que esta onda reflejada hipotética podría haber alcanzado es la altura virtual h_v .

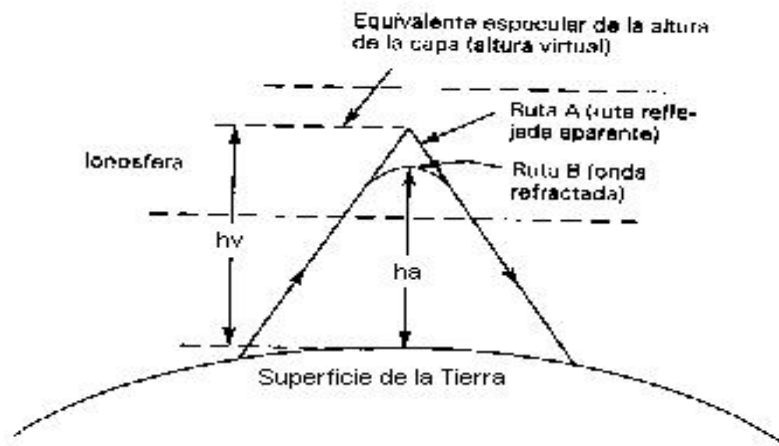


Figura 4.6: ALTURA VIRTUAL Y REAL

4.4.3 FRECUENCIA MÁXIMA UTILIZABLE.

La *frecuencia máxima utilizable (MUF)*, es la frecuencia más alta que puede utilizarse para la propagación de las ondas ionosféricas, entre dos puntos específicos de la superficie de la Tierra. Por lo tanto, es lógico suponer, que

hay tantos valores posibles para MUF como puntos hay en la Tierra y frecuencias (un número infinito).

La MUF, al igual que la frecuencia crítica, es una frecuencia limitante para la propagación de ondas ionosféricas. Sin embargo, la frecuencia máxima utilizable es para el ángulo específico de incidencia (el ángulo entre la onda incidente y la normal). Matemáticamente, la MUF^{10} está dada por:

$$MUF = \text{frecuencia crítica} / \cos \theta \quad (4.18)$$

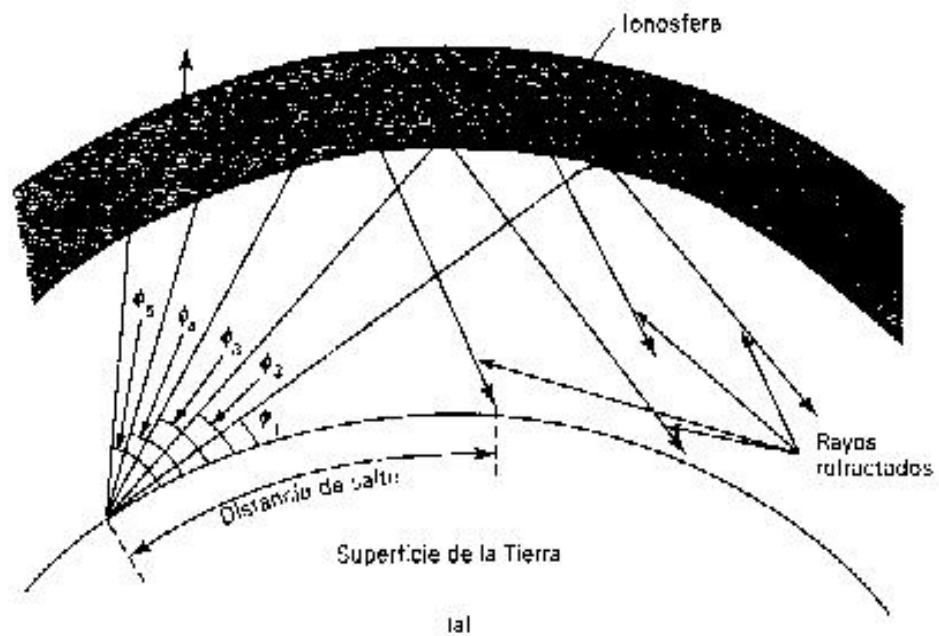
4.4.4 DISTANCIA DE SALTO.

La *distancia de salto* d_s es la distancia mínima desde la antena transmisora, en que se regresará a Tierra una onda ionosférica de cierta frecuencia (que debe ser menor a la MUF).

La figura 4.7a, muestra varios rayos con diferentes ángulos de elevación siendo radiados, desde el mismo punto de la tierra. Puede verse, que el punto donde la onda se regresa a Tierra se acerca más al transmisor, conforme se incrementa el ángulo de elevación ϕ . Sin embargo, eventualmente, el ángulo de elevación es lo suficientemente alto que la onda

¹⁰ La MUF se utiliza solamente para hacer cálculos preliminares.

penetra a través de la ionósfera y escapa totalmente de la atmósfera terrestre. La figura 4.7 b muestra el efecto en la distancia de salto de la desaparición de las capas D y E, durante la noche. Efectivamente, el techo formado por la ionósfera se eleva, permitiendo que las ondas ionosféricas viajen más altas antes de ser refractadas nuevamente a la Tierra. Este efecto explica como a veces, durante la noche se escuchan algunas estaciones que están muy lejanas y que no se escuchan durante las horas del día.



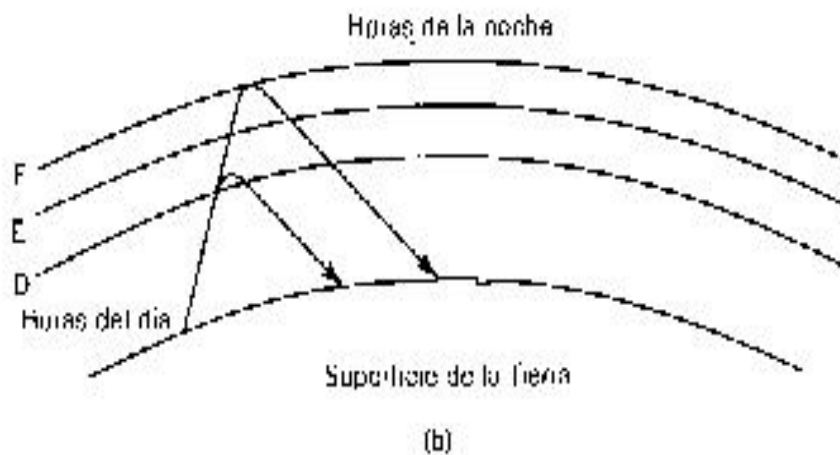


Figura 4.7: (a) DISTANCIA DE SALTO; (b) PROPAGACIÓN DE DÍA CONTRA PROPAGACIÓN NOCTURNA

4.5 PROPAGACION DE ONDAS EN LINEA DE VISTA

La propagación de las ondas de línea de vista¹¹ incluye energía radiada que viaja unas cuantas millas, en la parte inferior de la atmósfera de la Tierra. También se incluyen ondas directas y ondas reflejadas de tierra (véase la figura 4.8).

Las ondas directas viajan esencialmente en línea directa, entre las antenas transmisora y receptora. La propagación de ondas espaciales con ondas directas se llama comúnmente *transmisión de línea de vista* (¹²LOS).

Por lo tanto, la propagación de ondas espaciales se limita por la curvatura de la tierra. Las ondas reflejadas a tierra son ondas reflejadas por la superficie de la Tierra conforme se propagan, entre las antenas transmisora y receptora.

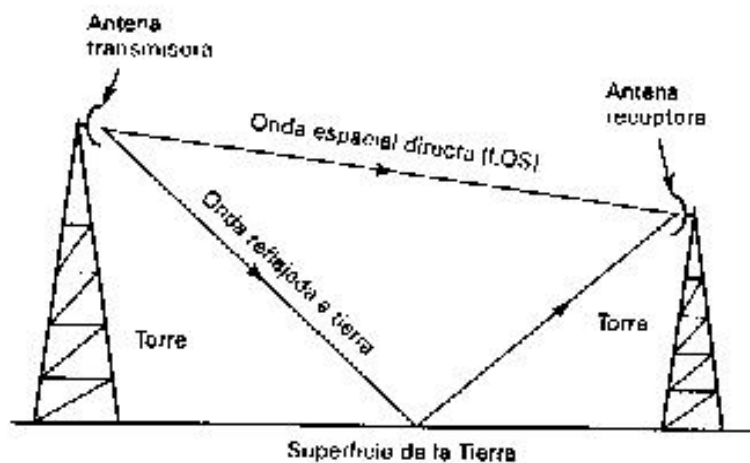


Figura 4.8: PROPAGACIÓN DE ONDAS EN LÍNEA DE VISTA (LOS)

La figura de arriba, muestra la propagación de las ondas de línea de vista, entre dos antenas. Puede verse que la intensidad del campo en la antena

¹¹ También se las consideran ondas espaciales pero trabajan a frecuencias superiores a los 30Mhz.

receptora depende de la distancia que hay entre las dos antenas (atenuación y absorción) y si las ondas, directas y reflejadas a tierra, están en fase (interferencia).

Existen tres mecanismos, los cuales pueden producir pérdidas de trayectoria para diferenciarse del caso de espacio libre:

- La reflexión de objetos que pueden estar cerca o lejos del trayecto directo.
- La refracción de la atmósfera terrestre que altera la trayectoria de la radio ondas y que puede cambiar con el tiempo.
- La difracción es un efecto cortante que ocurre por objetos cerca de la trayectoria de onda directa.

4.5.1 REFRACCIÓN ATMOSFÉRICA.

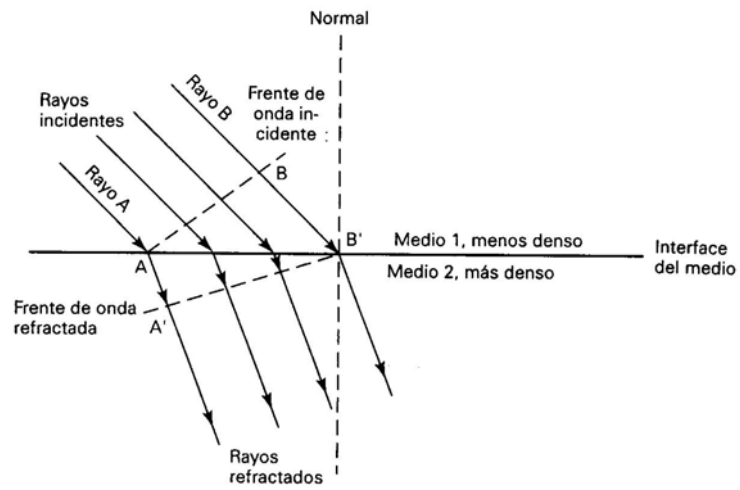
La refracción electromagnética es el cambio de dirección de un rayo conforme pasa oblicuamente, de un medio a otro, con diferentes velocidades de propagación, vea la figura 4.9a.

¹² L.O.S del inglés LINE OF SIGHT

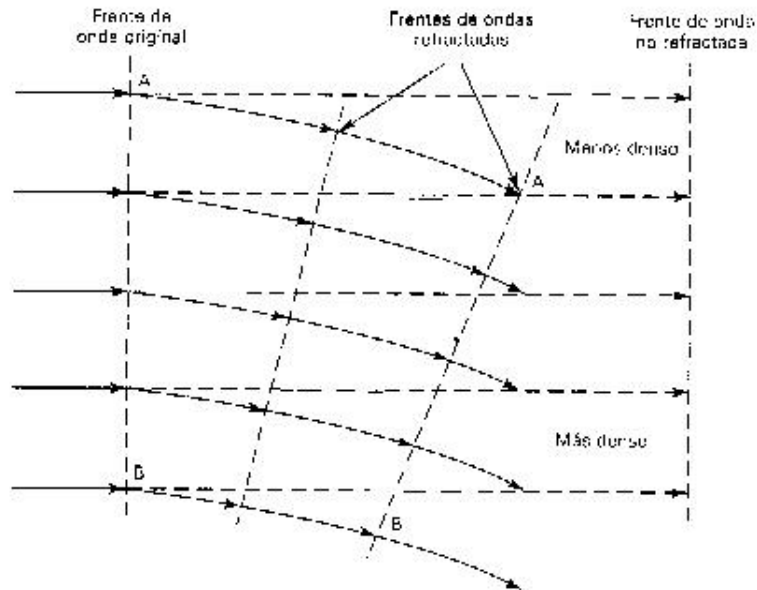
La velocidad a la cual una onda electromagnética se propaga es inversamente proporcional a la densidad del medio en el cual se está propagando. Por lo tanto, la refracción también ocurre siempre que una onda electromagnética se propaga de un cierto medio a otro de diferente densidad. La cantidad de inclinación o refracción que ocurre en la interfase de dos materiales de diferente densidades es bastante predecible y depende del *índice de refracción*¹³ (llamado también *índice refractivo*) de los materiales.

La refracción también ocurre cuando un frente de onda se propaga en un medio que tiene un *gradiente de densidad* que es perpendicular a la dirección de propagación (es decir, paralela al frente de onda), la figura 4.9b, muestra una refracción de frente de onda en un medio de transmisión que tiene una variación gradual en su índice de refracción.

El medio es más denso abajo y menos denso arriba. Por lo tanto, los rayos que viajan cerca de arriba viajan más rápido que los rayos cerca de los de abajo y, consecuentemente, el frente de onda se inclina hacia abajo. La inclinación ocurre de manera gradual conforme la onda progresa, como se muestra.



(a)



(b)

Figura 4.9: LA REFRACCION (a) EN UNA FRONTERA PLANA ENTRE DOS MEDIOS (b) EN UN MEDIO GRADIENTE.

¹³ Se lo define como la relación entre la velocidad de un rayo de luz en el espacio libre y la velocidad del mismo en un material dado, $n = c/v$.

El índice de refracción atmosférico normalmente decrece gradualmente con el incremento de la altura. El resultado de esto, es el incremento de la velocidad de transmisión con la altura sobre el terreno, y en promedio, la energía electromagnética es curvada (refractada) hacia la tierra.

La curvatura uniforme puede ser representada por la propagación en línea recta del rayo de trayectoria, pero con el radio de la tierra modificado (radio aparente), de tal forma que la curvatura entre el rayo de onda y la tierra permanece invariable. Entonces, el nuevo radio terrestre es conocido como el *radio efectivo* de la tierra, mientras que a la *relación* entre el *radio efectivo* y el *radio real de la tierra*, se lo simboliza con k . Por lo dicho anteriormente la refracción en la atmósfera produce la curvatura del rayo, lo que se considera un proceso estadístico.

$$k a_{\text{real}} = a_{\text{efectivo}} \quad (4.19)$$

donde : a_{real} (Radio de la tierra) = 6378 Km

Es de destacar que el radio de curvatura K esta relacionado con la razón de cambio del índice de refracción e con la altura h mediante:

$$k = \frac{1}{1 + \frac{a}{2} \times \frac{de}{dh}} \quad (4.20)$$

Donde : $a =$ radio real de la Tierra

$\frac{de}{dh} =$ razón de cambio del índice de refracción con la altura

En regiones de clima tropical templado el valor de k es 4/3 (1.33) y corresponde a la media anual (50% del tiempo). En regiones árticas disminuye a 1.2 y aumenta en el trópico a 1.5,5, en el primer caso se dice de una atmósfera subestandar y en el otro superestandar.

VALORES TIPICOS DE K

Clima tropical templado	$k = 1,33$	atmósfera estándar
Regiones árticas	$k = 1,2$	atmósfera subestandar
En el trópico	$k = 1,5$	atmósfera superestandar

El decrecimiento del índice de refracción con la altura puede ser a veces tan grande que el haz de onda es curvado hacia abajo con un radio igual al de la Tierra. Así, la tierra puede ser considerada como plana. Y un posterior incremento en el gradiente refractivo, resultará que el rayo de la onda

empieza a curvarse hacia abajo suficientemente para ser refractado desde la tierra.

El rayo aparece entonces para ser atrapado en un conducto entre la tierra y la máxima altura de la trayectoria del rayo, véase la figura 4.10. Bajo ciertas condiciones atmosféricas el índice refractivo puede incrementarse con la altura, causando que los frentes de onda se curven hacia arriba; así que, la curvatura inversa resulta en un decrecimiento en el trayecto de la claridad de línea de vista.

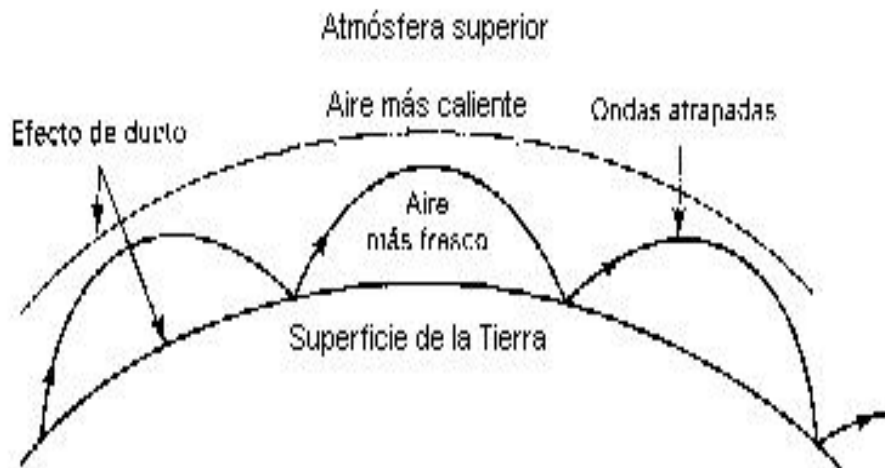


Figura 4.10: PROPAGACIÓN EN DUCTO

La curvatura de la tierra presenta un horizonte para la propagación de las ondas línea de vista (L.O.S.) u espaciales comúnmente llamado *radio horizonte*.

Debido a la refracción atmosférica, el radio horizonte se extiende más allá del horizonte óptico para la atmósfera común ($k = 4/3$). La tropósfera causa la refracción debido a cambios en su densidad, temperatura, contenido de vapor de agua y relativa conductividad.

El radio horizonte puede alargarse simplemente elevando la antena transmisora u receptora (o ambas) por arriba de la superficie terrestre, utilizando torres o colocándolas sobre montañas o edificios altos.

La figura 4.11 muestra el efecto que tiene la altura de la antena en el radio horizonte. El radio horizonte de línea de vista para una sola antena, cuando su altura h es muy pequeña comparada con el radio de la tierra, está dado con buena aproximación por:

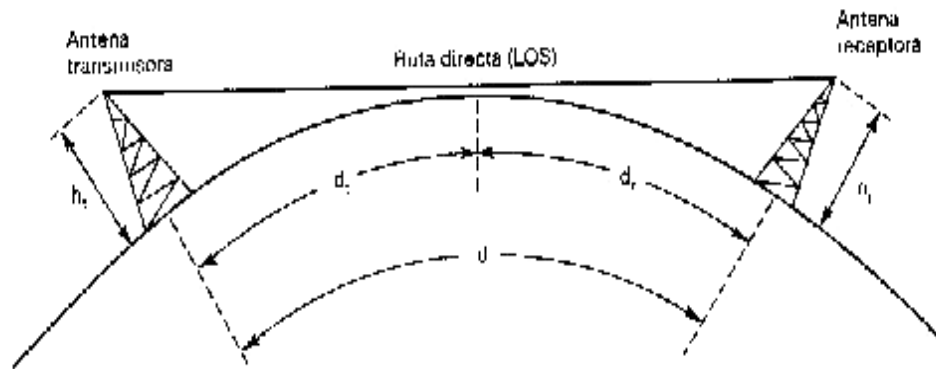


Figura 4.11: RADIO DE HORIZONTE

$$d = \sqrt{3kh/2} \quad (4.21)$$

donde: h = altura sobre el nivel del mar en pies.

d = distancia al radio horizonte en millas.

K = el factor de la relación entre el radio efectivo
al radio real de la tierra.

Si $k = 4/3$, el radio horizonte será:

$$d = \sqrt{2h} \quad (4.22)$$

Por tanto, para una antena transmisora a una altura h_t [pies] y una antena receptora a una altura h_r [pies] y estando ambas en línea de vista en

condiciones normales ($k=4/3$), la distancia d [millas] entre ellas sobre la tierra llana será:

$$d = \sqrt{2ht} + \sqrt{2hr} \quad (4.23)$$

La figura 4.12, presenta un nomograma que permite hacer el cálculo directo del radio horizonte entre dos antenas conociendo sus respectivas alturas.

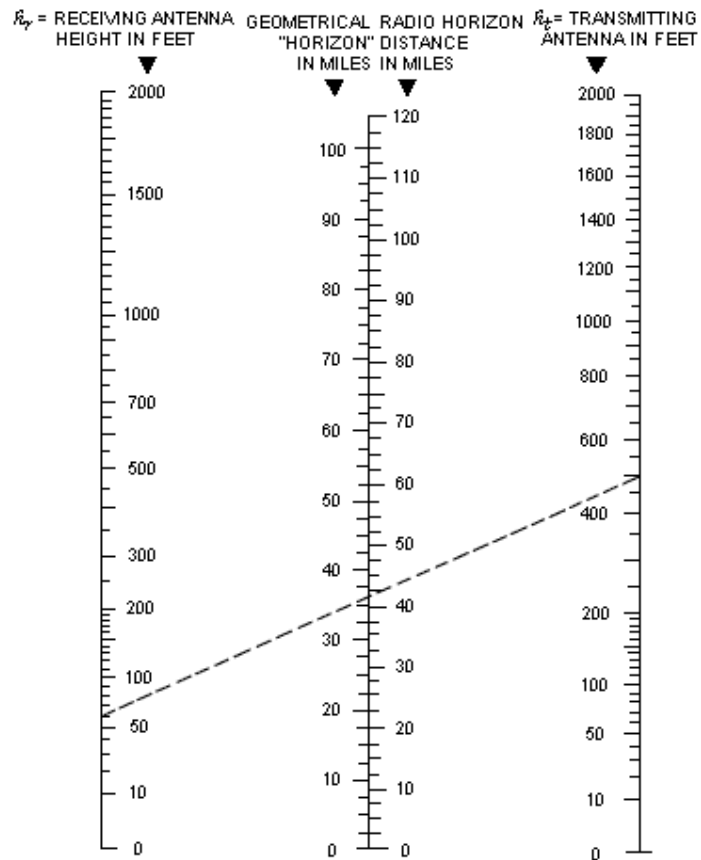


Figura 4.12: NOMOGRAMA QUE DA LA DISTANCIA RADIO HORIZONTE CUANDO HT, HR SON CONOCIDAS ($k = 4/3$)

4.5.2 LA DIFRACCIÓN Y LAS ZONAS DE FRESNEL.

La refracción y la reflexión de ondas de radio son los mecanismos que son limpiamente fáciles de imaginar, pero la difracción es mucha menos intuitiva. Para entender la difracción, y la propagación de radio en general, es muy provechoso tener alguna comparencia como las ondas de radio se comportan en un ambiente que no es estrictamente " el espacio libre " .

La difracción se define como la modulación o redistribución de energía, dentro de un frente de onda, cuando pasa cerca del extremo de un objeto opaco. La difracción es el fenómeno que permite que las ondas de luz o de radio se propaguen (se asomen) a la vuelta de las esquinas. Las explicaciones sobre la reflexión y refracción suponen que las dimensiones de las superficies refractivas y reflectivas eran grandes, con respecto a una longitud de onda de la señal. Sin embargo, cuando un frente de onda pasa cerca de un obstáculo o con discontinuidad de dimensiones comparables en tamaño con una longitud de onda, no se puede usar el simple análisis geométrico para explicar los resultados y el *principio de Huygens* (que se deduce de las ecuaciones de Maxwell) es necesario.

El principio de Huygens indica que cada punto de un frente de onda esférica determinado se puede considerar como una secundaria de puntos de onda

electromagnéticas, desde donde se irradian hacia fuera a otras ondas secundarias (ondas pequeñas).

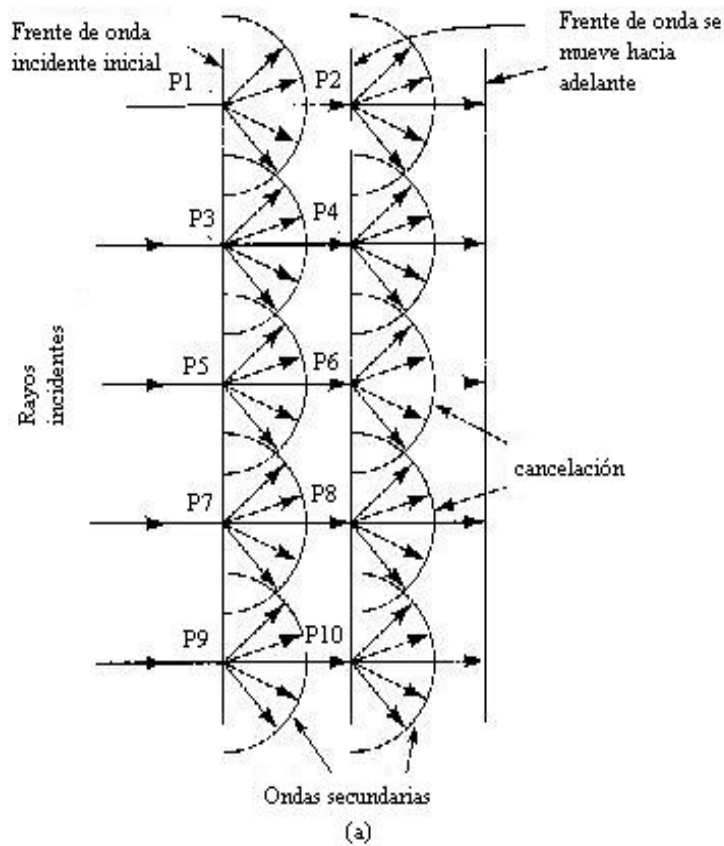


Figura 4.13: DIFRACCIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS (a) PRINCIPIO DE HUYGENS

Considere la figura 4.13, donde se explica este principio. En la figura 4.13a se muestra una propagación de onda normal considerando un plano infinito. Cada fuente puntual secundaria (p_1 , p_2 , etcétera) irradia energía hacia fuera en todas direcciones. Sin embargo, el frente de onda continúa en su

dirección original en lugar de extenderse hacia fuera, porque la cancelación de ondas secundarias ocurre en todas direcciones excepto de frente. Por tanto, el frente de onda permanecerá plano.

Cuando se considera un frente de onda plano y finito, como en la figura 4.13b, la cancelación en direcciones aleatorias es incompleta. En consecuencia, el frente de onda se extiende hacia fuera o se *dispersa*. Este efecto de dispersión se llama *difracción*.

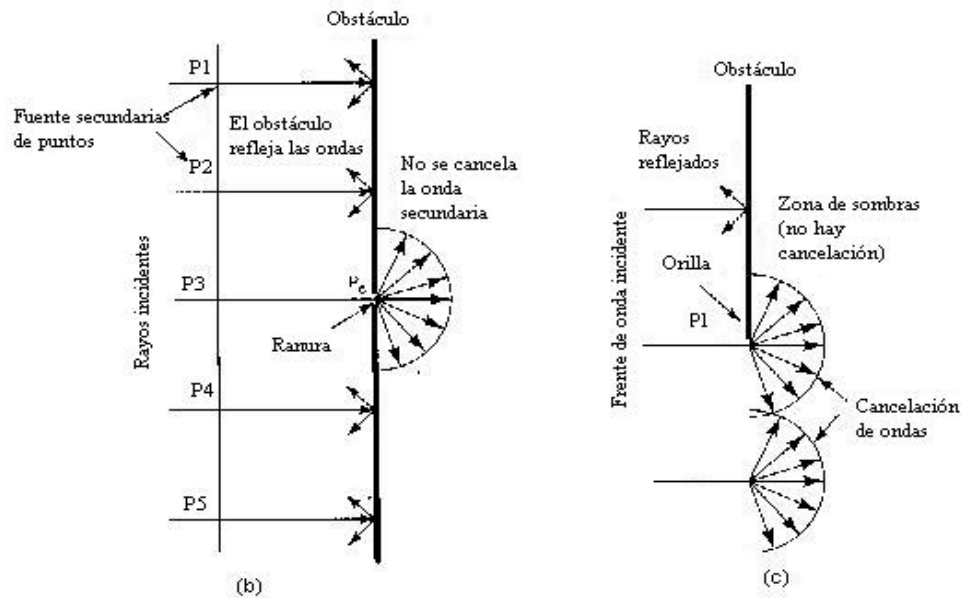


Figura 4.13 DIFRACCIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS, continuación: (b) FRENTE DE ONDA FINITA A TRAVÉS DE UNA RANURA; (c) DEL OTRO LADO DE UN EXTREMO

La figura 4.13c muestra la difracción del otro lado de un obstáculo. Puede verse que la cancelación de ondas ocurre parcialmente. La difracción ocurre en el extremo del obstáculo, que permite que ondas secundarias pasen desapercibidas por la esquina del obstáculo a lo que se llama la *zona de oscuridad o de sombras*, y en la cual, la energía de la onda electromagnética se ve afectada.

4.5.2.1 CLARIDAD REQUERIDA EN LA RADIO TRAYECTORIA.

Ahora estamos en una posición para hablar sobre zonas de Fresnel. Una zona de Fresnel es un concepto simple una vez que Ud tiene algún entendimiento de difracción: esto es el volumen de espacio incluido por un elipsoide que tienen las dos antenas en los focales de un radioenlace elemental en sus focos. La representación bidimensional de una zona de Fresnel es mostrada en la figura 4.14.

La superficie de los elipsoides es definida por el camino ACB, que excede la longitud del camino directo AB por alguna cantidad fija. Esta cantidad es $n\lambda/2$, donde la n es un número entero positivo y λ es la longitud de onda

electromagnética. Para la primera zona de Fresnel¹⁴, $n = 1$ y la longitud del camino se diferencia por $\lambda/2$ (esto es, 180 inversión de fase en lo que concierne al camino directo). Pero, para propósitos más prácticos, sólo la primera zona de Fresnel¹⁵ necesita ser considerada.

Una radio trayectoria tiene la *claridad de la primera zona de Fresnel* si, como es mostrado en la figura 3.14, ningún objeto es capaz de causar la difracción de penetración significativa al correspondiente elipsoide. La primera zona está limitada por los puntos para el cual la trayectoria de transmisión desde el transmisor hasta el receptor es mayor por media longitud de onda que la trayectoria directa. La geometría para cálculos de zona de Fresnel se muestra en la figura 3.14. Tenga presente que esto es sólo una representación bidimensional, pero las zonas de Fresnel son tridimensionales. Las mismas consideraciones se aplican cuando los objetos que limitan la claridad del radio trayecto están al lado o hasta encima del camino de propagación. Ya que consideramos trayectoria LOS¹⁶ en esta sección, daremos sólo el caso de la altura negativa, mostrado en la parte inferior de la figura 4.15.

¹⁴El radio de la n-ésima zona de Fresnel es: $H_n = \sqrt{\frac{n\lambda(d_1 \times d_2)}{d_1 + d_2}}$

¹⁵ El radio de la primera zona de Fresnel se da cuando $n = 1$.

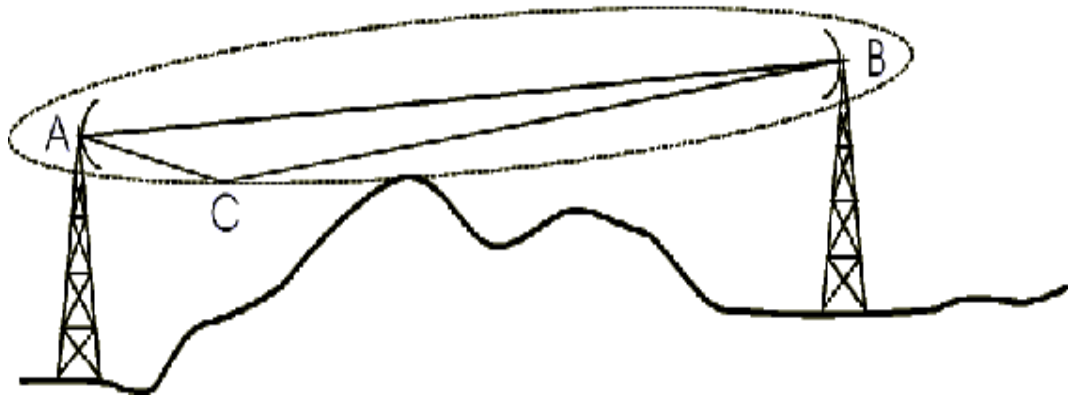


Figura 4.14: ZONA DE FRESNEL PARA UN RADIO ENLACE

Veremos el caso donde h es positiva más tarde, cuando consideramos trayectos sin LOS.

Para la primera zona de Fresnel, la distancia ¹⁷ h desde el punto más cercano del obstáculo al trayecto directo de la onda está dada por:

$$h = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f(d_1 + d_2)}} \quad (4.24)$$

¹⁶ LOS: son las siglas para LINE OF SIGHT (LINEA DE VISTA).

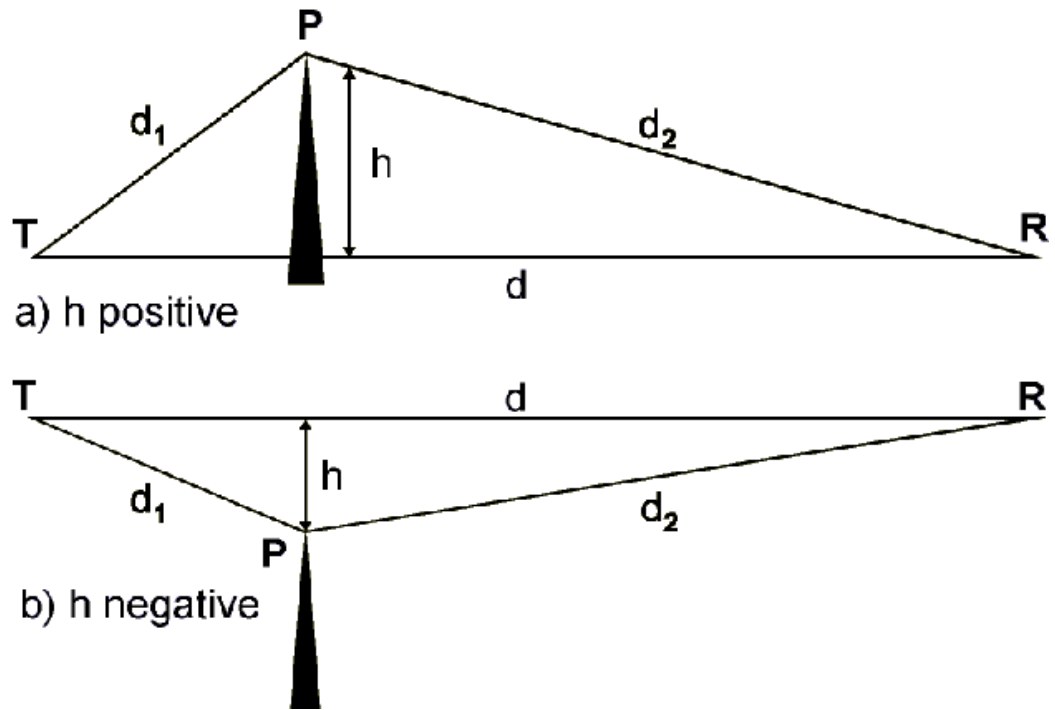


Figura 4.15: GEOMETRÍA DE LA ZONA DE FRESNEL

Donde d_1 y d_2 son las distancias de la punta del objeto a los dos finales del radio trayecto, f es la frecuencia en el GHZ, d_1 y d_2 están en el kilómetro, y la h está en metros. O :

¹⁷ La distancia h es llamada claridad.

$$h = 72.1 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f(d_1 + d_2)}} \quad (4.25)$$

Donde la f está en el GHZ, d_1 y d_2 en millas, y la claridad h está en pies.

Ahora esto es el tiempo para confesar que la situación representada en la figura 4.15a, es un caso especial, conocido como la difracción por borde de cuchillo. Básicamente, esto quiere decir que la cima del obstáculo es pequeña en términos de longitudes de onda. Esto es a veces una aproximación razonable de un objeto en el mundo real, pero la mayoría de las veces, el obstáculo será rodeado (como una cima) o tendrá una superficie grande plana (como la cima de un edificio), o si no se desviará la suposición de borde de cuchillo. En tales casos, la pérdida de camino para el caso de pasto puede ser bastante más de 6 dB - de hecho, 20 dB serían una mejor estimación en muchos casos. Así, la zona de claridad de Fresnel puede ser bastante importante sobre trayectorias reales. Y, otra vez, se tiene presente que la zona de Fresnel es tridimensional, entonces la claridad también debe ser mantenida de los lados de edificios, etc. si la pérdida de trayectoria debe ser reducida al mínimo. Otro punto para considerar, es el efecto sobre la claridad de la zona de Fresnel por cambios de la refracción atmosférica, como hablado en la sección pasada. Podemos tener la claridad adecuada sobre un trayecto más largo en condiciones normales (esto es, el radio de tierra de 4/3), pero, se pierde la claridad cuando las condiciones de refracción

insólitas prevalecen. Sobre trayectos más largos, por lo cual, es común en radio enlaces comerciales hacer el análisis de la zona de Fresnel sobre algo angosto para el peor de los casos, en vez de las condiciones de refracción típicas, pero esto puede ser de menos interés en aplicaciones aficionadas.

4.5.3 REFLEXIONES DE TIERRA.

Un trayecto L.O.S, puede tener la claridad de la zona de Fresnel adecuada, y aún todavía tener una pérdida de trayectoria que se diferencia considerablemente del espacio libre en condiciones normales de refracción. Si ésta es la cuestión, la causa es probablemente la propagación de multicamino que es resultado de reflexiones (el multicamino también plantea problemas particulares para sistemas de transmisión).

Una fuente común de reflexiones es la tierra. Esto tiende a ser más de un factor sobre trayectorias en áreas rurales; en ajustes urbanos, la trayectoria de reflexión de la tierra a menudo será bloqueada por el desorden de edificios, árboles, etc. En radio trayectos sobre relativamente tierra llana o cuerpos como el agua, sin embargo, las reflexiones de tierra pueden ser un determinante principal de pérdida de trayectoria. Para cualquier radio enlace, vale la pena mirar el perfil del trayecto y ver si la reflexión de tierra tiene el

potencial para ser significativa. También debería ser tenido presente que el punto de reflexión no está en el punto medio del trayecto, a no ser que las antenas estén a la misma altura y la tierra no es inclinada en la región de reflexión - solamente el recordar la máxima vieja de la óptica que el ángulo de incidencia iguala el ángulo de reflexión.

Las reflexiones de tierra pueden ser buenas noticias o noticias malas, pero a menudo lo último. En un radio enlace, que consiste de un camino directo más un camino reflejado de tierra, la pérdida de trayectoria depende de la amplitud relativa y la relación de fase de las señales propagadas por los dos caminos. En casos extremos, donde el camino reflejado de tierra tiene la claridad de Fresnel y sufre poca pérdida de la reflexión de sí mismo (o la atenuación de árboles, etc.), entonces su amplitud puede acercarse a del trayecto directo. Entonces, según el cambio de fase relativo de los dos caminos, podemos tener un realce de hasta 6 dB sobre el camino directo solo, o la cancelación que causa la pérdida de camino adicional de 20 dB o más.

La diferencia en longitudes de camino puede ser estimada del perfil de la trayectoria, y luego traducida en longitudes de onda para dar la relación de fase. Entonces, tenemos que considerar la reflexión, y esto es donde las cosas se hacen interesantes. La amplitud y la fase de la onda reflejada

dependen de unas variables, incluyendo la conductividad y la permisividad de la superficie que reflexiona, la frecuencia, el ángulo de incidencia, y la polarización.

Es difícil resumir los efectos de todas las variables que afectan reflexiones de la tierra, pero un caso típico es mostrado en figura 4.16. Esta figura en particular, es para condiciones de tierra típicas en 100 MHz, pero el mismo comportamiento es visitado una amplia gama de constantes de tierra y frecuencias. Note que hay una diferencia grande en amplitudes de reflexión, entre la polarización horizontal y vertical (denotada sobre las curvas con h y v, respectivamente), y que la polarización vertical en general da lugar a una onda mucha más pequeña reflejada. Sin embargo, la diferencia es grande sólo para los ángulos de incidencia mayor que unos grados (note que, a diferencia que en la óptica, en la transmisión de radio el ángulo de incidencia normalmente es medido con respecto a una línea tangente a la superficie reflectora más bien que una normal); en la práctica, estos ángulos sólo ocurrirán sobre caminos muy cortos, o caminos con antenas extraordinariamente altas. Para caminos típicos, el ángulo de incidencia tiende a ser del orden de un grado o menos - por ejemplo, para el trayecto de 10 kilómetros sobre la tierra lisa con 10 m alturas de antena, el ángulo de incidencia de la reflexión de tierra sólo sería aproximadamente 0.11 grados. En tal caso, ambas polarizaciones darán amplitudes de reflexión cerca de la

unidad (esto es, sin ninguna pérdida de reflexión). Quizá más sorprendentemente, también habrá una inversión de fase en ambos casos.

Las ondas horizontalmente polarizadas siempre sufren una inversión de fase sobre la reflexión, pero para ondas verticalmente polarizadas, el cambio de fase es una función del ángulo de incidencia y de las características del terreno.

El resultado de todo esto, es que para la mayor parte de trayectorias en el cual la reflexión terrestre es significativa (y ningunas otras reflexiones está presente), habrá muy poca diferencia del rendimiento entre la polarización horizontal y vertical

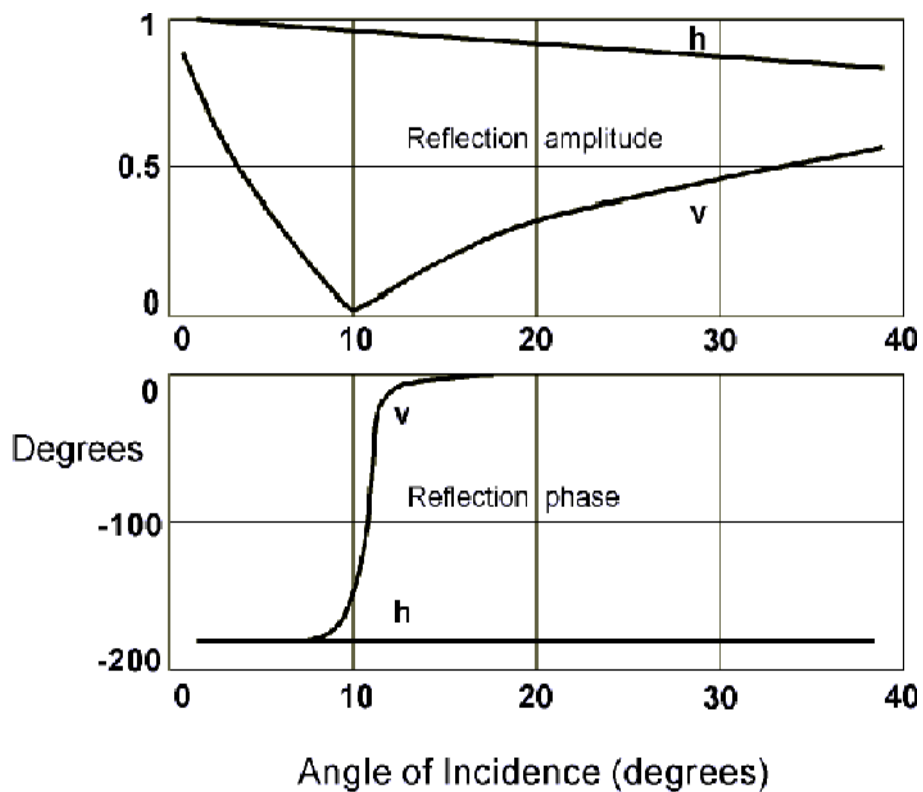


Figura 4.16: PARÁMETROS TÍPICOS DE LA REFLEXIÓN DE LA TIERRA.

Para caminos muy cortos, la polarización horizontal generalmente dará lugar a una reflexión fuerte. Si se diera, esto causa la cancelación más bien que el realce, cambiando a la polarización vertical puede proporcionar una solución. En otras palabras, para caminos cortos, es por lo general que vale la pena intentar ambas polarizaciones para ver que trabaja mejor (desde luego, otros factores como coacciones que montan y el rechazo de otras fuentes de multicamino y la interferencia también establecen la opción de polarización).

Tanto, para la una o la otra polarización, como el camino se hace más largo nos acercamos al caso donde la reflexión de tierra produce una inversión de fase y muy poca atenuación. Al mismo tiempo, los caminos directos y reflejados se hacen casi iguales. La pérdida de camino oscila arriba y abajo como aumentamos la distancia, hasta que alcancemos el punto donde las longitudes de camino diferencian por la solamente media longitud de onda. Combinado con 180° el cambio de fase causado por la reflexión de tierra, esto trae las señales directas y reflejadas en la fase, causando un realce sobre la pérdida de trayectoria libre espacial (teóricamente 6 dB, pero esto raras veces será realizado en la práctica). Después de eso, esto es todo el descenso como la distancia más lejos es aumentada, desde la diferencia de fase entre los dos accesos de caminos en el límite 180° el cambio de fase de la reflexión de tierra. Puede mostrarse que, en esta región, la potencia recibida sigue una ley inversa de cuarta potencia como una función de la distancia en vez de la ley cuadrática habitual (esto es, 12 dB más atenuación cuando Ud. dobla la distancia, en vez de 6 dB).

La distancia en la que la pérdida de trayectoria comienza a aumentar a razón de la cuarta potencia es alcanzada cuando el elipsoide correspondiente a la primera zona de Fresnel, justo toca la tierra. Una estimación razonablemente buena de esta distancia puede ser calculada de la siguiente ecuación.

$$\frac{4h_1h_2}{\lambda} = b \quad (4.26)$$

Donde h_1 y h_2 son las alturas de antena encima del punto de reflexión de tierra.

Por ejemplo, para antenas de 10 m de altura, a 915 MHz ($\lambda = 33$ cm), está en la región de pérdida de la ley cuarta para enlaces de aproximadamente 1.2 kilómetros. Así, para amplios rangos de trayectorias, las reflexiones de tierra son noticias siempre malas. Comúnmente más se encuentran problemas serios con las reflexiones en enlaces de radio a través de los cuerpos de agua.

El desarrollo de las técnicas espectrales y la diversidad de arreglos de antena, por lo general no pueden vencer los problemas - la solución radica en el emplazamiento de las antenas (por ejemplo, lejos de la orilla del cuerpo de agua) tal que el camino reflejado es cortado por obstáculos naturales, mientras el camino directo es intacto. En otros casos, puede ser posible ajustar las posiciones de antena para mover el punto de reflexión hacia una área áspera de terreno que disperse la señal antes que la creación de una fuerte reflexión especular.

La intensidad del campo resultante, debido a la combinación de un rayo directo con uno reflejado en el punto de recepción y asumiendo perfecta reflexión en T (según figura 4.17), está relacionado con la intensidad de espacio libre, independiente de la polarización, por.

$$E = 2E_0 \cos\left[2\pi\left(\frac{\Delta}{2\lambda}\right)\right] \quad (4.27)$$

Donde E: intensidad de campo resultante en el punto receptor.

E_0 : intensidad del campo directo, espacio libre

Δ : diferencia de caminos entre la onda directa y la reflejada

λ : longitud de onda

$$\Delta = 2 \frac{h_{at} \times h_{ar}}{d} \quad (4.28)$$

Donde h_{at} y h_{ar} son las alturas de las antenas, transmisora y receptora respectivamente, sobre un plano reflector tangente a la tierra efectiva en el punto T. Vea la figura 4.17.

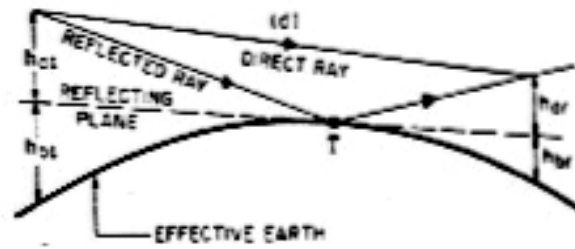


Figura 4.17: INTERFERENCIA ENTRE LOS RAYOS DIRECTOS Y REFLEJADO.

La diferencia de fase es:
$$\Delta\varphi = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d} \quad (4.29)$$

Para calcular el punto donde tendrá lugar la reflexión es necesario tener presente la longitud del enlace d [km], las alturas absolutas de cada antena sobre el nivel del mar (h_t , h_r) y el factor del radio terrestre k .

El proceso de cálculo inicia determinando las distancias d_1 y d_2 que separan el punto de reflexión del transmisor y receptor respectivamente.

En dicho punto se cumplen las siguientes expresiones:

$$d = d_1 + d_2 \quad (4.30)$$

$$d_1 = \frac{d}{2} + p \times \cos\left(\frac{\pi + \phi}{3}\right) \quad (4.31)$$

En las siguientes expresiones se han preparado las constantes de forma que las alturas están en metros y las distancias en kilómetros.

$$p = \frac{2}{\sqrt{3}} \times \left[6.37k \times (ht + hr) + \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.32)$$

$$\phi = \cos^{-1} \left[\frac{12.74 \times k \times (ht - hr) \times d}{p^3} \right] \quad (4.33)$$

Se ha supuesto el caso de que $ht > hr$ si $ht < hr$ se pondrá en (4.33) $hr - ht$ y la ecuación (4.31) dará d_2 en lugar de d_1 .

A partir de d_1 y d_2 se calculan las alturas sobre el plano tangente a la Tierra en el punto de incidencia mediante:

$$hat = ht - \frac{4d_1^2}{51k} \quad (4.34)$$

$$har = hr - \frac{4d_2^2}{51k} \quad (4.35)$$

El ángulo de incidencia en miliradianes es:

$$\psi = \frac{h_{at} + h_{ar}}{d} \quad (4.36)$$

El ángulo entre el rayo directo y el plano tangente es:

$$\alpha[\text{milirad}] = \frac{h_{ar} - h_{at}}{d} \quad (4.37)$$

Otros ángulos de interés son:

- a) Rayo directo con rayo reflejado, en el transmisor.

$$\theta_1 = \psi + \alpha \quad (4.38)$$

- b) Rayo directo con rayo reflejado, en el lado del receptor.

$$\theta_2 = \psi - \alpha \quad (4.39)$$

La teoría de la reflexión es aplicable siempre que ψ sea superior a un valor límite igual a: $\psi_{\text{lim}}(\text{mrad}) = (5400 f)^{1/3}$ donde f es la frecuencia en Mhz.

Para $\psi < \psi_{\text{lim}}$, hay que aplicar el modelo de la difracción sobre la tierra esférica.

4.5.3.1 OTRAS FUENTES DE REFLEXIONES.

Mucho que ha sido dicho sobre reflexiones de tierra se aplica a reflexiones de otros objetos también. La reflexión sobre un camino particular puede ser de un tejado de edificio en vez de la tierra en sí mismo, pero el efecto es igual. En los largos enlaces, las reflexiones de objetos cerca de la línea del trayecto directo, casi siempre causarán el aumento de las pérdidas de trayectoria -en la esencia, Ud tiene una permanente planicie debilitada sobre un muy amplio ancho de banda.

Las reflexiones de los objetos que están bien de al lado del camino directo son una historia diferente. Sin embargo, esto es frecuente en áreas urbanas, donde los lados de edificios pueden causar reflexiones fuertes. En tales casos, el ángulo de incidencia puede ser mayor a cero, a diferencia del caso de reflexión de tierra. Esto significa que la polarización horizontal y vertical puede comportarse de manera bastante diferente - como vimos en figura 4.16, las señales verticalmente polarizadas tienden a producir reflexiones de baja amplitud que las señales horizontalmente polarizadas cuando el ángulo de incidencia excede unos pocos grados.

Cuando la superficie que refleja es vertical, como el lado de un edificio, una señal que es transmitida con la polarización horizontal efectivamente tiene la

polarización vertical tan lejos como la reflexión esté comprometida. Por lo tanto, la polarización horizontal generalmente causará reflexiones más débiles y menos multicamino que la polarización vertical en estos casos.

4.6 LOS EFECTOS DE LA LLUVIA, LA NIEVE Y LA NIEBLA.

La pérdida de caminos LOS a veces puede ser afectada por condiciones meteorológicas (otro que los efectos de refracción que ya han sido mencionados). La Lluvia y la niebla (nubes) se hacen una fuente significativa de atenuación sólo cuando nos reponemos en la región de microondas. La atenuación de la niebla sólo se hace sensible (esto es, la atenuación del orden de 1 dB o más) encima aproximadamente 30 GHZ. La nieve está en esta categoría también. La atenuación de lluvias se hace significativa alrededor de 10 GHZ, donde una precipitación pesada puede causar la pérdida de trayectoria adicional del orden de 1 dB/km.

4.6.1 PÉRDIDAS DE TRAYECTORIA SIN LÍNEA DE VISTA.

Hemos visto que la pérdida por trayectoria no es siempre fácil de predecir. Cuando tenemos un camino que no es LOS, esto se hace aún más difícil de

predecir, como bien señala, se propagarán sobre ello. Lamentablemente, las situaciones sin L.O.S son a veces inevitables, en particular en áreas urbanas. Las secciones siguientes se ocupan de unos los factores principales que deben ser considerados.

4.6.2 PÉRDIDAS POR DIFRACCIÓN.

En algunos casos especiales, como la difracción sobre un obstáculo solo puede ser modelado como un borde de cuchillo, la pérdida por trayectoria sin L.O.S, puede ser predicha clara y prontamente. De hecho, esto es la misma situación la que vimos en las figuras 4.13, con el parámetro de difracción $v > 0$. Este parámetro es:

$$v = 2\sqrt{\frac{\Delta d}{\lambda}} \quad (4.40)$$

Para obtener Δd , mida la distancia constante entre los puntos extremos del radio enlace. Entonces mida la longitud del trayecto real, que incluye dos puntos extremos (puntos de transmisión y de recepción) y la punta del borde de cuchillo, y tomar la diferencia entre los dos. Vea la figura 4.15a. Una

aproximación buena para las pérdidas de difracción de borde-cuchillo en dB puede ser calculada de:

$$L(v) = 6.9 + 20 \log \left[\sqrt{v^2 + 1} + v \right] \quad (4.41)$$

Otra manera práctica de obtener las pérdidas por difracción de las ondas planas sobre un filo de cuchillo o pantalla se muestra en la figura 4.18. La altura de la obstrucción H es medida desde la línea que une a las dos antenas hasta el tope de la cima. Cuando el rayo directo pasa encima de la obstrucción, H es negativo, y las pérdidas por sombra se aproximan a 0dB en forma oscilatoria como la claridad es incrementada. En otras palabras una sustancial claridad es requerida sobre la línea de vista para obtener transmisión en espacio libre. El cálculo de la difracción filo de cuchillo es independiente de la polarización mientras que la distancia desde el filo es mayor que unas cuantas longitudes de onda.

Más preciso resulta obtener en las cercanías del horizonte en términos de la claridad del trayecto en términos de las zonas de Fresnel, como lo muestra la figura 4.19. En esta representación la teoría de tierra plana y la difracción pueden ser representadas por simples líneas, pero la teoría de la esfera lisa requiere una familia de curvas con un parámetro M que depende de la alturas de las antenas y la frecuencia.

La gran diferencia en las pérdidas predichas por difracción alrededor de una esfera perfecta y por difracción sobre un filo de cuchillo, indica que las pérdidas por difracción dependen críticamente en elegir el tipo de perfil.

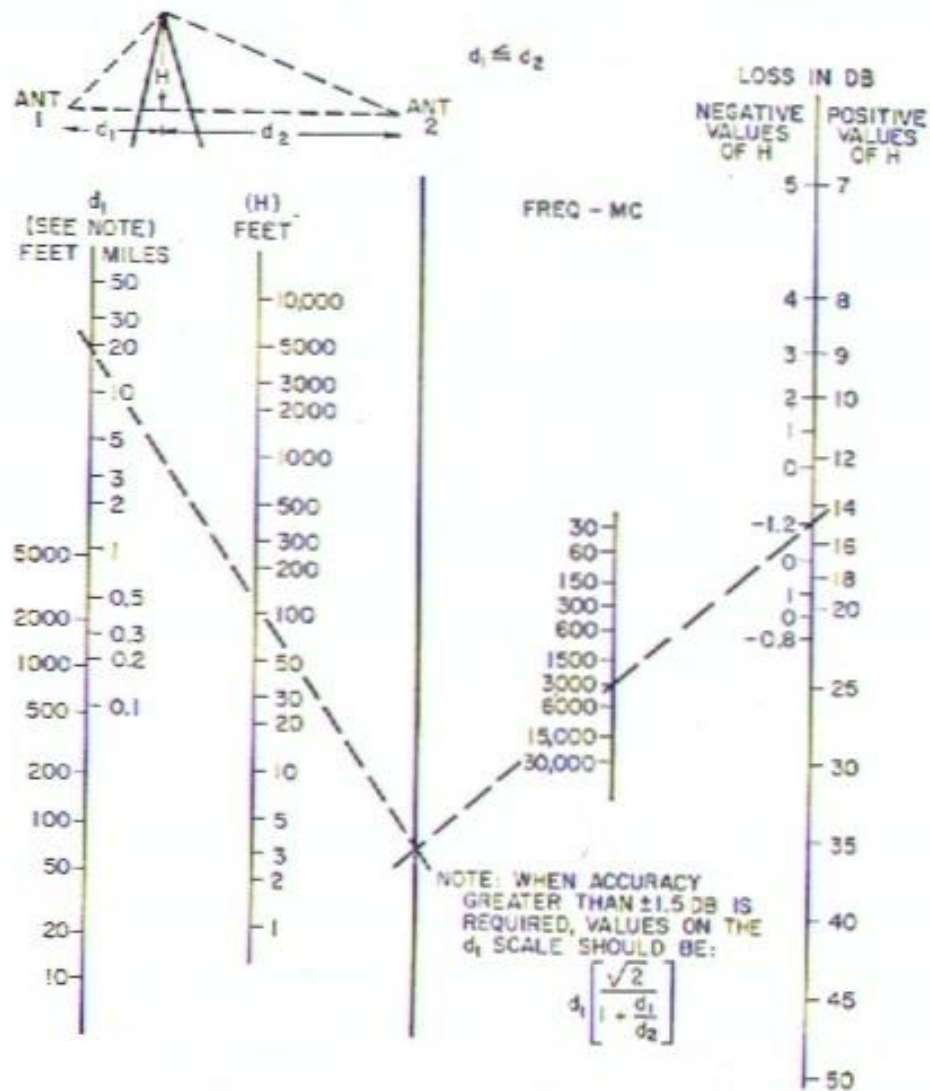


Figura 4.18: PÉRDIDAS POR DIFRACCIÓN RELATIVAS AL ESPACIO LIBRE

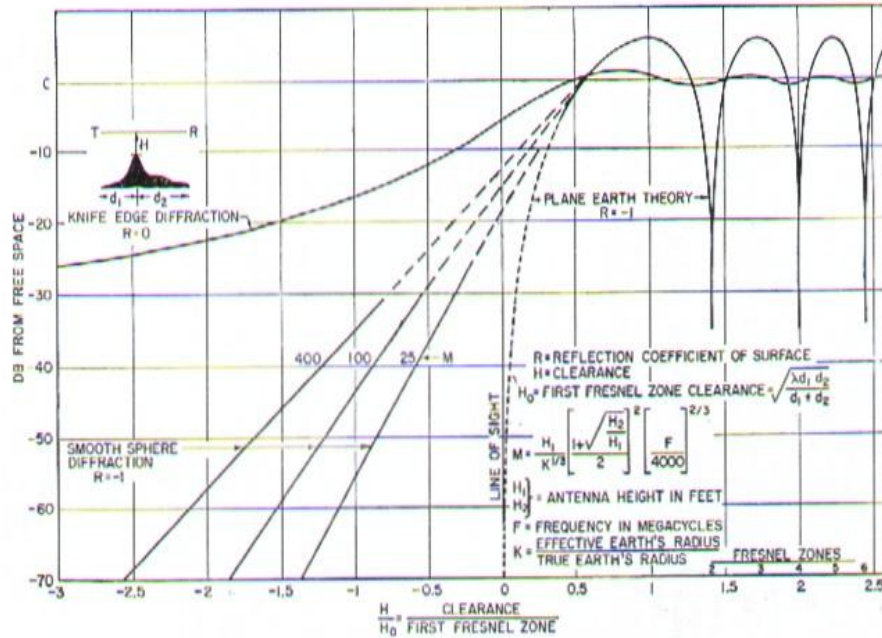


Figura 4.19: PÉRDIDAS DE TRANSMISIÓN VERSUS CLARIDAD

4.6.3 ATENUACIÓN POR VEGETACIÓN.

Puede ser una fuente significativa de pérdida por trayectoria, y hay unas variables complicadas, como el tipo específico de árbol, si esto es mojado o seco, y en el caso de árboles caducos, si las hojas son presentes o no. Los árboles aislados no son por lo general un problema principal, pero un bosque denso es otra historia. La atenuación depende de la distancia la señal debe penetrar por el bosque, y esto aumenta con la frecuencia. Según un [informe

10 CCIR, la atenuación es del orden de 0.05 dB/m en 200 MHz, 0.1 dB/m en 500 MHz, 0.2 dB/m en 1 GHz, 0.3 dB/m en 2 GHz y 0.4 dB/m en 3 GHz. En frecuencias inferiores, la atenuación es algo más abajo para la polarización horizontal que para vertical, pero la diferencia desaparece el susodicho aproximadamente 1 GHz. ¡Esto añade hasta mucha pérdida de camino de exceso si su señal penetra varios cientos de metros de bosque! Por suerte, hay también la propagación significativa por la difracción sobre las copas de árboles, especialmente si ud. puede levantar sus antenas cerca de las copas de árboles nivelan o los guardan(mantienen) una distancia buena del borde del bosque, entonces no todo es perdido si ud. vive cerca de un bosque.

4.6.4 OTRAS PÉRDIDAS.

Las líneas de transmisión nos permiten acoplar el equipo con la antena, ya sea en transmisión o recepción, estas perdida dependerán del tipo de línea de transmisión, de su longitud, y de la frecuencia de operación, en la practica las líneas de alimentación tienen una atenuación en función de la longitud, la cual debe ser la mínima posible, ya que esta no debe reflejar la potencia que le entrega el transmisor a la antena y conociendo la longitud del trayecto desde el transmisor hacia la antena, podemos conocer la atenuación

total que introduce la línea de transmisión, que en todos los casos debe ser muy pequeña comparada con la potencia de transmisión (menor a 1dB), también se deben considerar las pérdidas por conectores, circuladores, guía de ondas, etc.

4.7 MARGEN DE ERROR.

Cuando se realiza los cálculos de atenuaciones, es aconsejable dejar un margen de error, para el caso que la zona de fresnel se expanda por acción troposférica, este generalmente se encuentra de 2 a 4 dB, dejando para todos los sistemas de radiocomunicacion 3 dB para transmisión y 3 dB para recepción.

4.8 CALCULO DEL MARGEN DE DESVANECIMIENTO

El margen de desvanecimiento (FM) es una medida de cuanta atenuación de señal el sistema pueda soportar sin caer de un nivel mínimo de BER, se

interpreta como el valor diferencia entre la potencia nominal y la potencia umbral del receptor.

La potencia nominal de recepción consiste en restar a la potencia de transmisión las atenuaciones del circuito de enlace teniendo en cuenta las ganancias de las antenas y la atenuación del espacio libre.

La expresión es:

$$Pr_x[dB] = P_{tx} + G_t + G_r - L_o - L_{tx} - L_{rx} \quad (4.42)$$

donde:

P_{tx} = potencia a la salida del transmisor.

$L_o = 92,44 + 20 \log f + 20 \log d$; atenuación por espacio libre

L_{tx} = atenuación de líneas, circuladores, guías de ondas, etc. desde la salida del transmisor hasta la antena transmisora.

L_{rx} = atenuación de líneas, circuladores, guías de ondas, etc. Entre la antena receptora y la entrada al receptor.

El valor de potencia de transmisión es variable según el equipo. Por ejemplo, corresponden a +28dBm para el CTR 190/2 y +25 dBm para el CTR 190/7 hablando en el caso de equipos de radio digitales, así mismo en el caso de transmisores de VHF y UHF.

Esta atenuación tiene en cuenta la atenuación del espacio libre solamente por lo cual se supone que hemos logrado una claridad de la primera zona de fresnel.

Según el CCIR cuando la antena esta cerca de arboleda la señal se propaga dentro de ella y la perdida adicional se puede contabilizar como:

$$A = 0,187 * f^{0,284} * d^{0,588} \quad (4.43)$$

f = frec. En MHZ (válida hasta 10GHZ)

d = longitud de la arboleda en m (hasta 400m).

Por último el margen de desvanecimiento se expresa como:

$$FM = Prx - S \quad (4.44)$$

Donde:

S : sensibilidad del equipo.

4.8.1 NIVEL DE PORTADORA RECEPTADA.

Se lo establece como la diferencia entre las ganancias totales y las perdidas.

Nivel de portadora receptada = $G_{\text{totales}} - L_{\text{totales}}$

4.8.2 UMBRAL DE RECEPCIÓN.

Es la mínima potencia con la que el receptor puede operar. Debe estar sobre el equilibrio para que esta no interfiera. Mientras menos es el umbral el aparato es más sensible, aunque por lo general, ésta es proporcionada por el fabricante del equipo, puede ser calculado utilizando la siguiente expresión:

$$U_x(\text{dBw}) = 10 \log \frac{V_{in}[\text{voltios}]}{Z_{in}[\Omega]} \quad (4.45)$$

4.8.3 CONFIABILIDAD DEL SISTEMA.

La formula para el calculo de la no-disponibilidad ND de una trayectoria dado un desvanecimiento multitrayectoria es:

$$ND = a \times b \times 2.5 \times 10^{-6} \times f \times D^3 \times 10^{-(FM/10)} \quad (4.46)$$

Donde:

a = factor de clima

0,1 clima seco

0,25 clima templado

0,5 clima caliente

b : factor de terreno

0,25 montañoso

1 promedio

4 planicie

f = frecuencia en Ghz

D = longitud de la trayectoria en millas

FM = margen de desvanecimiento en dB.

Si la distancia esta en Km la formula seria:

$$ND = ND = a \times b \times 2,5 \times 10^{-7} \times f \times D^3 \times 10^{-(FM/10)} \quad (4.47)$$

La formula para el calculo de la disponibilidad A de un enlace es:

$$A = (1 - ND) \times 100\% \quad (4.48)$$

4.9 REPRESENTACION DE LOS PERFILES TOPOGRAFICOS.

La representación de los perfiles del terreno se efectúa llevando las cotas de los puntos sobre una línea de base o *curva de altura cero parabólica*, y que representa la curvatura de la Tierra ficticia con radio $k a_{real}$ (a_{real} , radio de la Tierra = 6378 Km). La ordenada de esta curva, para la abscisa genérica x, se denomina *flecha* y equivale a la protuberancia de la Tierra, se representa por.

$$Y(x) = 0.07849 \frac{x(D-x)}{k} \quad (4.49)$$

Si consideramos la atmósfera estándar, $k = 4/3$, entonces la expresión 4.49 se convierte en:

$$Y(x)[m] = \frac{(D[km])^2}{12.74} x(1-x) \quad (4.50)$$

$x = \frac{di}{D}$, Donde di y D están en las mismas unidades.

Donde:

di : distancia desde el sitio de transmisión al punto de altura Hi .

D : distancia entre el sitio de transmisión y el de recepción.

En la figura 4.20 se representa un ejemplo de cómo representar la curva parabólica de referencia, y en la figura 4.21 se muestra la representación de un perfil. En la figura 4.21, la cota del punto A es $h(0) = Y(0) + c(0)$; mientras que la cota del punto B es $h(D) = Y(D) + c(D)$. Es decir, que la representación de la altura en cualquier punto del perfil topográfico se puede expresar matemáticamente en forma general de la siguiente manera.

$$h(di) = Y(x) + c(di) \quad (4.51)$$

Donde $c(di)$, es la altura sobre el nivel de referencia y que se obtiene de los mapas topográficos. Además, H_{A1} y H_{A2} son las alturas de las antenas sobre el nivel del suelo en los puntos A y B respectivamente.

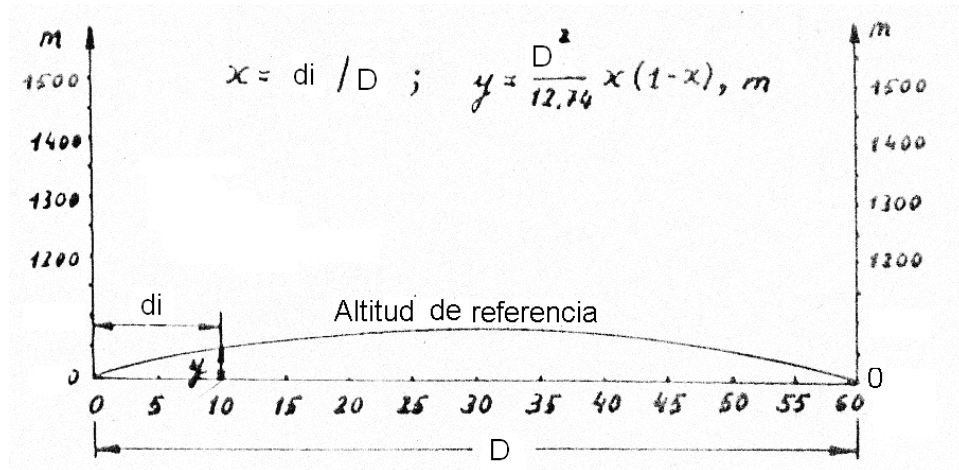


Figura 4.20: PARÁBOLA DE REFERENCIA

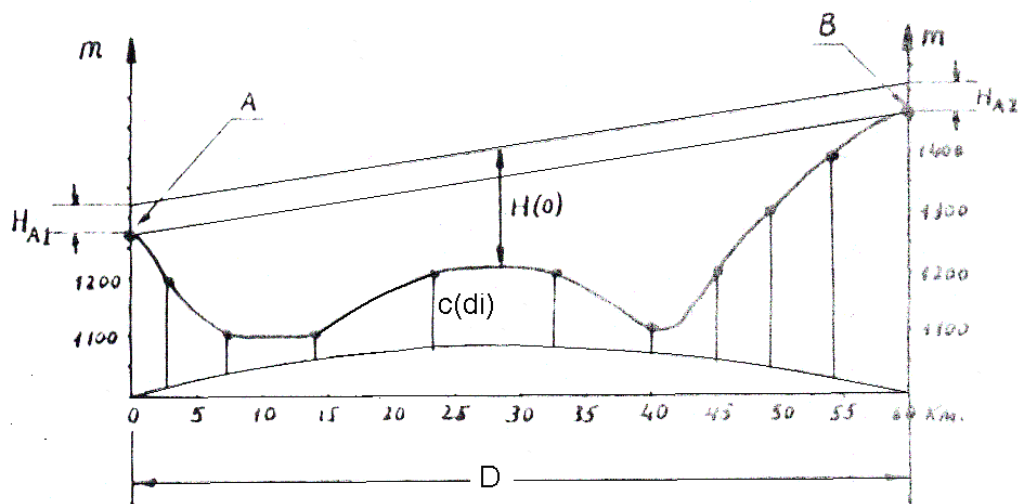


Figura 4.21: REPRESENTACIÓN DE UN PERFIL

CAPITULO V

FUNDAMENTOS DE ANTENAS

5.1 INTRODUCCION

Una antena es una estructura de transición entre una zona de ondas guiadas y otra de ondas libres. Cuando se constituye en terminación de una línea de transmisión, permite que las ondas guiadas por la línea se liberen al espacio. Para el caso en que la carga de una línea de transmisión sea un receptor, la misma antena será capaz de captar ondas libres y entregarlas a la línea que las guiará hasta el receptor.

Una antena es un dispositivo recíproco pasivo; pasivo en cuanto a que en realidad no puede amplificar una señal, por lo menos, no en el sentido real de la palabra (sin embargo, como veremos más adelante, una antena puede tener ganancia), y recíproco en cuanto a que las características de transmisión y recepción de una antena son idénticas, excepto donde las corrientes de alimentación al elemento de la antena se limitan a la modificación del patrón de transmisión.

Para clasificar las ondas de radio se toman como medida los múltiplos de diez en la longitud de onda. Por lo tanto las ondas de VHF tienen una longitud de onda entre 1 Metro y 10 Metros mientras que las de UHF tienen una longitud de onda entre 10 Centímetros y un Metro. Como la relación es que la frecuencia es igual a la velocidad de la luz (misma velocidad que la de propagación de las ondas electromagnéticas, aproximadamente 300.000 Km./h) dividida por la longitud de onda, entonces tenemos que la banda de VHF va desde los 30 Mhz a los 300 Mhz y la de UHF va de los 300 Mhz a los 3 Ghz.

5.2 TERMINOS Y DEFINICIONES

5.2.1 PATRON DE RADIACIÓN

Un patrón de radiación es un diagrama polar o grafica que representan las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares en relación con una antena. Si el Patrón de radiación se traza en términos de la intensidad del campo eléctrico o de la densidad de potencia, se llama *Patrón de Radiación Absoluto*. Si se traza la intensidad del campo o de la densidad de potencia con relación al valor en un punto de

referencia, se llama *Patrón de Radiación Relativo*. La figura 5.1 Muestra un Patrón de radiación absoluto y relativo para una antena no especificada.

En la figura 5.1, el haz principal se encuentra en una dirección de 90° y se llama *Lóbulo Principal*. Puede existir más de un Lóbulo principal también hay un haz secundario o Lóbulo menor en una dirección de -180° . Normalmente, los lóbulos menores representan radiación o recepción indeseada. Debido que el lóbulo principal propaga y recibe la mayor parte de la energía, ese lóbulo se llama *Lóbulo Frontal* (la parte frontal de la antena). Los lóbulos adyacentes al lóbulo frontal se llaman *lóbulos laterales* (el lóbulo menor a 180° es un lóbulo lateral), y los lóbulos que están exactamente opuesta al lóbulo frontal se llaman *Lóbulos Traseros* (en este patrón no se muestra ningún lóbulo trasero).

La relación de la potencia del lóbulo frontal con la potencia del lóbulo trasero se llama *relación frontal a trasero*, y la relación del lóbulo frontal con el lóbulo lateral se llama *relación frontal a lateral*.

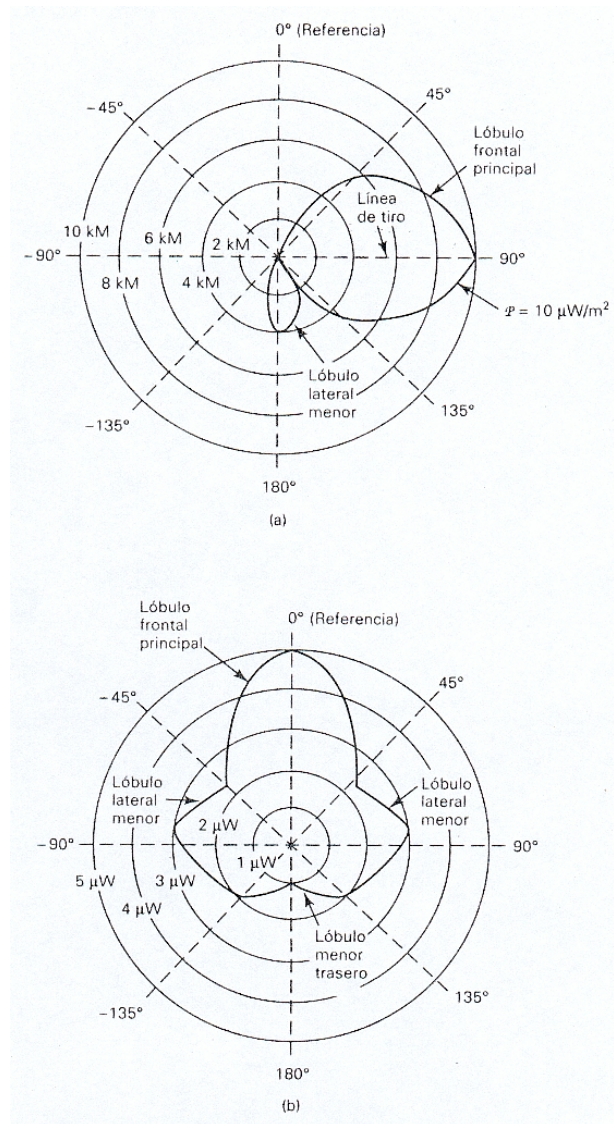


Figura 5.1: PATRON DE RADIACIÓN ABSOLUTA (a) Y RELATIVO (b) DE UNA ANTENA NO ESPECIFICADA

5.2.2 CAMPOS CERCANOS Y LEJANOS

El campo de radiación que se encuentra cerca de una antena no es igual al campo de radiación que se encuentra a gran distancia. El termino campo cercano se refiere al patrón de campo que esta cerca de la antena, y el termino campo lejano se refiere al patrón de campo que está a gran distancia. Durante la mitad del ciclo, la potencia se irradia desde una antena, en donde parte de la potencia se guarda temporalmente en el campo cercano. Durante la segunda mitad del ciclo, la potencia que esta en el campo cercano regresa a la antena, esta acción es similar a la forma en que un inductor guarda y suelta energía. Por tanto, el campo cercano se llama a veces *campo de inducción*. La potencia que alcanza el campo lejano continúa irradiando lejos y nunca regresa a la antena, por tanto el campo lejano se llama *campo de radiación*. El campo cercano se define como el área dentro de una distancia D^2/λ , donde D es la dimensión de la antena y λ es la longitud de onda en la misma unidades

5.2.3 RESISTENCIA DE RADIACIÓN Y EFICIENCIA DE LA ANTENA.

La resistencia de radiación, es la resistencia en ca de la antena y es igual a la relación de la potencia radiada por la antena al cuadrado de la corriente en

su punto de alimentación. La resistencia de radiación es la resistencia que, si reemplazara la antena, disiparía exactamente la misma cantidad de potencia que irradia la antena. Matemáticamente, la resistencia de radiación es.

$$R_r = \frac{P}{i^2} \quad (5.1)$$

Donde:

R_r = resistencia de radiación en Ohm.

P = potencia radiada por la antena (Watt)

i = corriente de la antena en el punto de alimentación (Amp).

La eficiencia de antena es relación de la Potencia radiada por una antena a la suma de la potencia radiada y la potencia disipada o la relación de la potencia radiada por la antena con la potencia total de entrada. Matemáticamente, la eficiencia de antena es:

$$\eta = \frac{P_r}{P_r + P_d} \times 100 \quad (5.2)$$

Donde:

η = eficiencia de antena (%)

P_r = Potencia radiada por la antena (W)

P_d = Potencia disipada en la antena (W)

5.2.4 POLARIZACION DE LA ANTENA

La polarización de una antena se refiere solo a la orientación del campo eléctrico radiado desde esta. Una antena puede polarizarse en forma lineal (por lo regular, polarizada horizontal o verticalmente suponiendo que los elementos de la antena se encuentra dentro de un plano horizontal o vertical), en forma elíptica, o circular. Si una antena irradia una onda electromagnética polarizada verticalmente, la antena se define como polarizada verticalmente; si la antena irradia una onda electromagnética polarizada horizontalmente se dice que la antena esta polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico radiado gira en un patrón elíptico, esta polarizada elípticamente; y si el campo eléctrico radiado gira en un patron circular, esta polarizada circularmente.

5.2.5 GANANCIA DIRECTIVA Y GANANCIA DE POTENCIA

Los términos ganancia directiva y ganancia de potencia con frecuencia no se comprenden y, por tanto, se utilizan incorrectamente. La *ganancia directiva* es la relación de la densidad de potencia radiada en una dirección en particular con la densidad de potencia radiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas irradian la misma

cantidad de potencia. El patrón de radiación para la densidad de potencia relativa de una antena es realmente un patrón de ganancia directiva si la referencia de la densidad de potencia se toma de una antena de referencia estándar, que por lo general es una antena isotrópica. La máxima ganancia directiva se llama *directividad*. Matemáticamente, la ganancia directiva es.

$$G = \frac{D_p}{P_{ref}} \quad (5.3)$$

Donde G = ganancia directiva (sin unidades)

D_p = densidad de potencia en algún punto de una antena

Determinada (W/m²)

P_{ref} = densidad de potencia en el mismo punto de una antena de referencia (W/m²)

La *ganancia de potencia* es igual a la ganancia directiva excepto que se utiliza el total de potencia que alimenta a la antena (o sea, que se toma en cuenta la eficiencia de la antena). Se supone que la antena indicada y la antena de referencia tienen la misma potencia de entrada y que la antena de referencia no tiene pérdidas ($\eta = 100\%$). Matemáticamente, la ganancia de potencia es.

$$A_p = G \times \eta \quad (5.4)$$

Si una antena no tiene pérdidas irradia 100% de la potencia de entrada y la ganancia de potencia es igual a la ganancia directiva. La ganancia de potencia para una antena también se da en decibeles en relación con alguna antena de referencia. Por tanto, la ganancia de potencia es.

$$A_p = 10 \log \left(\frac{D_p}{P_{ref}} \eta \right) \quad (5.5)$$

Para una referencia isotrópica, la directividad de un dipolo de media onda es aproximadamente de 1.64 (2.15 dB). Es usual indicar la ganancia de potencia en decibeles si se refiere a un dipolo $\lambda/2$. Sin embargo, si es en referencia a un radiador isotrópico, la cantidad de decibeles se indica como dBi, o dB/radiador isotrópico, y es 2.15 dB mayor que si se utilizara un dipolo de media onda como referencia. Es importante considerar que la potencia radiada de una antena nunca puede exceder la potencia de entrada. Por tanto, la antena realmente no amplifica la potencia de entrada. Una antena sólo concentra su potencia radiada en una dirección en particular. Por consiguiente, los puntos que se localizan en áreas donde la potencia radiada se concentra, realizan una ganancia aparente relativa a la densidad de potencia en los mismos puntos si se hubiera usado una antena isotrópica. Si la ganancia se realiza en una dirección, tiene que realizarse una reducción correspondiente en la densidad de potencia (una pérdida) en otra dirección.

La dirección en la que está "apuntando" la antena es siempre la dirección de máxima radiación. Debido a que una antena es un dispositivo recíproco, su patrón de radiación es también su patrón de recepción. Para una máxima potencia capturada, una antena receptora tiene que estar apuntando hacia la dirección donde se desea la recepción. Por tanto, las antenas receptoras tienen una directividad y una ganancia de potencia exactamente como las antenas transmisoras.

5.3 ANCHO DEL HAZ DE LA ANTENA

El *ancho del haz* de la antena es solo la separación angular entre los dos puntos de media potencia (-3 dB) en el lóbulo principal del patrón de radiación del plano de la antena, por lo general tomado en uno de los planos principales. El ancho del haz para la antena, cuyo patrón de radiación se muestra en la figura 5.2, es el ángulo formado entre los puntos A, X y B (ángulo θ). Los puntos A y B son los puntos de media potencia (la densidad de potencia en estos puntos es la mitad de lo que es, una distancia igual de antena en la dirección de la máxima radiación). El ancho del haz de la antena se llama ancho de haz de -3 dB o ancho de haz de media potencia.

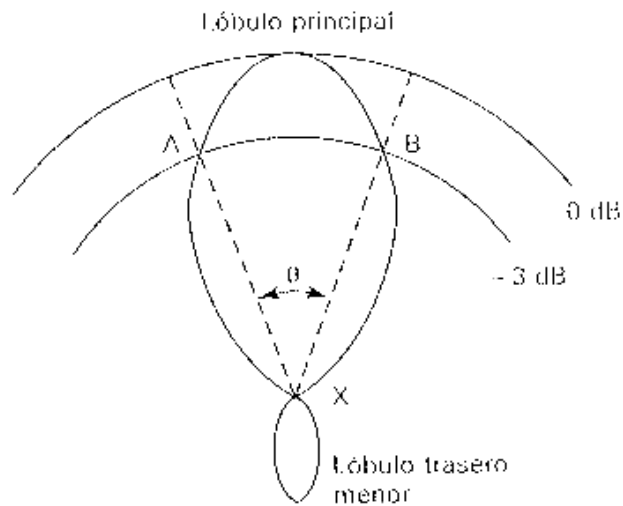


Figura 5.2: ANCHO DEL HAZ

5.4 ANCHO DE BANDA DE LA ANTENA

El *ancho de banda* de la antena se define como el rango de frecuencias sobre las cuales la operación de la antena es satisfactoria. Esto, por lo general, se toma entre los puntos de media potencia, pero a veces se refiere a las variaciones en la impedancia de entrada de la antena.

5.5 IMPEDANCIA DE ENTRADA DE LA ANTENA

La corriente fluye a la antena a través de la línea de transmisión, que esta conectada a un espacio pequeño entre los conductores que componen la antena. El punto en la antena en donde se conecta la línea de transmisión se llama terminal de entrada o solamente punto de alimentación. El punto de alimentación presenta una carga en corriente alterna a la línea de transmisión llamada impedancia de entrada de la antena. Si la impedancia de salida del transmisor y la impedancia de entrada de la antena son iguales a la impedancia características de la línea de transmisión, no habrá ondas estacionarias en la línea y se transfiere la potencia máxima a la antena.

La impedancia de entrada de la antena es solo la relación de voltaje de entrada de la antena con la corriente de entrada. Matemáticamente la impedancia de entrada es.

$$Z_{in} = \frac{E_{in}}{I_{in}} \quad (5.6)$$

Donde:

Z_{in} = Impedancia de entrada de la antena (ohms)

E_{in} = Voltaje de entrada de la antena (voltios)

I_{in} = Corriente de entrada de la antena (amperios)

5.6 MONOPOLOS Y DIPOLOS

Se puede leer en alguna publicación la palabra «monopolo» referida a la antena vertical con un solo elemento activo. Aunque aparentemente y en su aspecto mecánico, algunas antenas consten físicamente de un solo elemento (que ese sería el sentido del término) consideradas eléctricamente siempre se encuentran dos elementos, aunque uno de ellos pueda ser estructuralmente distinto del otro, e incluso no aparecer claramente definido, como ocurre en una antena vertical instalada en la estructura metálica de un vehículo, que actúa como el segundo elemento de un dipolo; a los «monopolos» habría que llamarles mejor, dipolos asimétricos. Un buen ejemplo de dipolo asimétrico es la popular antena vertical de $1/4$ de onda con plano de tierra artificial.

5.7 CARGA DE LA ANTENA

Hasta aquí hemos considerado la longitud de la antena en términos de longitud de onda en lugar de las dimensiones físicas. Por cierto, ¿Qué tan larga es una antena de $1/4$ de longitud de onda ?. Para una frecuencia de transmisión de 1 Ghz, un $1/4$ de longitud de onda es de 0.075 metros. Sin embargo para una frecuencia de transmisión de un 1 Mhz, $1/4$ de longitud de

onda es 75 metros, y en 100 Khz., $\frac{1}{4}$ de longitud de onda es 750 metros. Es obvio que las dimensiones físicas para antenas de baja frecuencia no son prácticas, especialmente para aplicaciones de radiomovil. Sin embargo, es posible incrementar la longitud eléctrica de una antena con una técnica llamada *carga*.

Cuando una antena se carga, no sufre cambios en su longitud física, aunque su longitud eléctrica efectiva se incrementa. Se utiliza varias técnicas para cargar una antena.

5.7.1 BOBINAS DE CARGA

La figura 5.3 muestra como una bobina agregada en serie con una antena dipolo incrementa efectivamente la longitud eléctrica de la antena. Dicha bobina se llama apropiadamente bobina de carga. La bobina de carga cancela efectivamente el componente capacitivo de la impedancia de entrada de la antena. Por tanto, la antena se ve como un circuito resonante, es resistivo y absorber ahora 100 % de la potencia incidente. En la figura 5.3 (b) muestra los patrones de onda estacionaria de la corriente en una antena con bobina de carga. La bobina de carga por lo regular se coloca en la parte de debajo de la antena, permitiendo que la antena se sintonice fácilmente a

la resonancia. Una bobina de carga incrementa efectivamente la impedancia de radiación de la antena por aproximadamente 5 ohmios. Observe que la onda estacionaria de la corriente tiene un valor máximo en la bobina, incrementado las pérdidas de potencia, creando una situación posiblemente de corona, y reduciendo efectivamente la eficiencia de radiación de la antena.

5.7.2 CARGA SUPERIOR

Las bobinas de carga tienen varias fallas que pueden evitarse utilizando una técnica llamada carga superior de la antena. Con esta forma de carga de la antena, se coloca una tabla metálica que asemeja una rueda de haz encima de la antena. La rueda incrementa la capacitancia derivada a tierra, reduciendo la capacitancia total de la antena. En la figura 5.4 se muestra la carga superior de la antena. Observe que los patrones de onda estacionaria de la corriente se encuentra a lo largo de la antena como si la longitud de la antena se hubiera incrementado a la distancia d , colocando la corriente máxima en la base. La carga superior resulta en un incremento considerable en la impedancia de radiación y en la eficiencia de radiación, también reduce el voltaje de la onda estacionaria en la base de la antena. Desdichadamente, la carga superior es difícil para aplicaciones móviles.

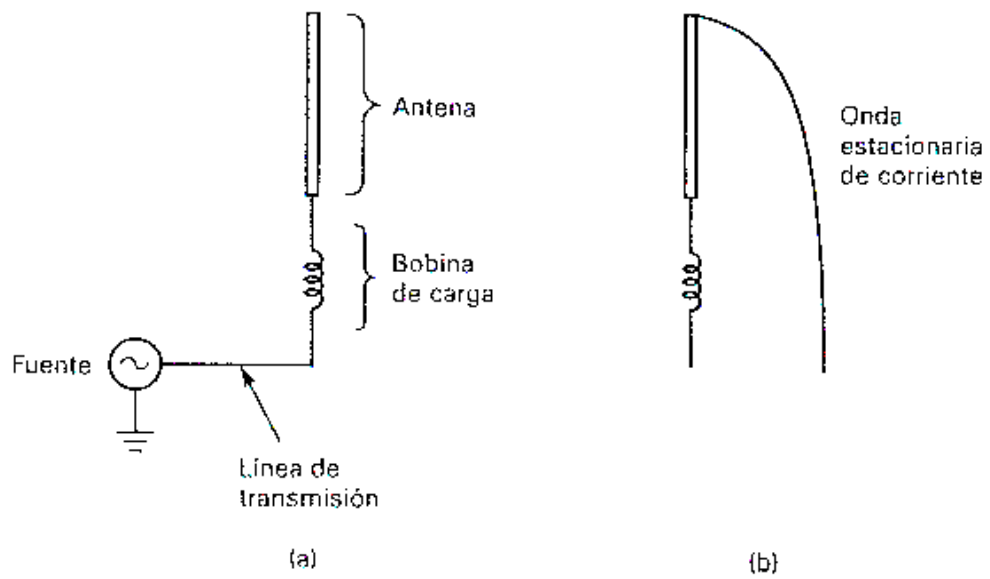


Figura 5.3: BOBINAS DE CARGA (a) ANTENA CON BOBINA DE CARGA;(b) ONDA ESTACIONARIA DE CORRIENTE CON BOBINA DE CARGA.

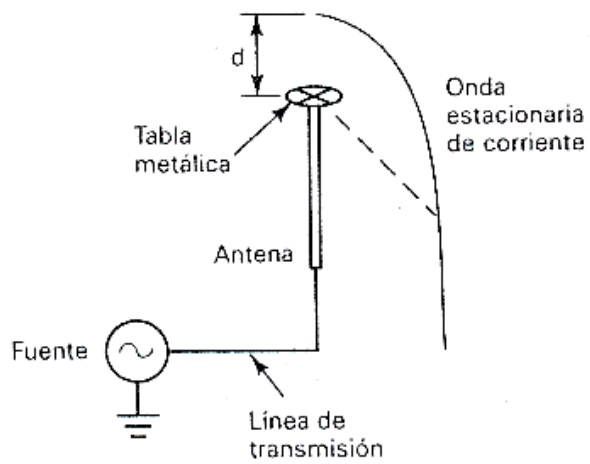


Figura 5.4: CARGA DE LA ANTENA EN FORMA SUPERIOR

5.8 ONDAS ESTACIONARIAS

La transferencia de energía entre el transmisor, la línea de alimentación y la antena se realiza de forma eficiente si la impedancia de los tres elementos es la misma. Si los valores de impedancia de la antena y su línea de alimentación no coinciden, la energía que alcanza la antena es parcialmente reflejada hacia la línea y aparecen en ella la suma y resta de esas señales en forma de ondas estacionarias; es decir, hay puntos en los que el valor de la tensión o la intensidad son distintos de los que resultarían de la potencia aplicada a una carga de impedancia igual a la de la línea.

La presencia de ondas estacionarias en la frecuencia de trabajo de un sistema radiante, por sí misma, no significa que la antena no esté resonando en la frecuencia de trabajo, ni que no pueda funcionar eficientemente, sino que responde sólo a una desadaptación entre la antena y la línea que la alimenta afectando a la eficiencia del sistema radiante. Algunas antenas prácticas y muy eficientes (G5RV, Zeppelin o Levy), operan con valores de ondas estacionarias relativamente elevados, pero se procura reducir los efectos de esa desadaptación mediante redes adaptadoras de impedancia, llamadas comúnmente acopladores de antena. En la figura 5.5, se ilustra el efecto del desacople entre la línea de transmisión, una carga (antena) y la fuente de energía.

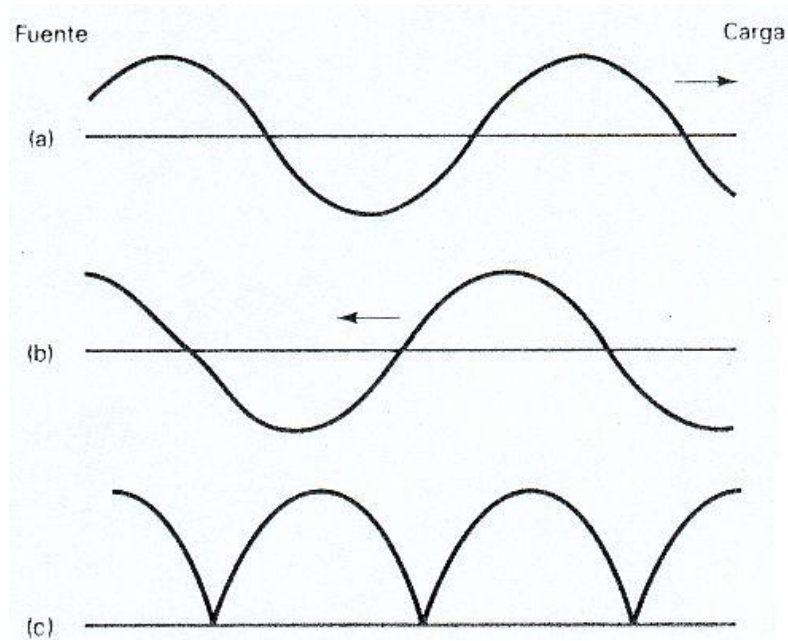


Figura 5.5: DESARROLLO DE UNA ONDA ESTACIONARIA EN UNA LINEA DE TRANSMISIÓN; (a) ONDA INCIDENTE; (b) ONDA REFLEJADA; (c) ONDA ESTACIONARIA.

5.8.1 RELACION DE ONDA ESTACIONARIA.

La *relación de onda estacionaria* (SWR), se define como la relación del voltaje máximo con el voltaje mínimo, o de la corriente máxima con la corriente mínima de una onda estacionaria en una línea de transmisión. SWR frecuentemente se llama la *relación de onda estacionaria de voltaje* (VSWR). Esencialmente, la SWR es una medición del desacoplamiento entre

la impedancia característica de la línea de transmisión y la impedancia de carga. Matemáticamente, la VSWR es.

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (5.7)$$

La cantidad vectorial que representa a la relación del voltaje reflejado al voltaje incidente o corriente reflejada a la corriente incidente, se llama *coeficiente de reflexión* Γ . Matemáticamente se expresa como.

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i} = \frac{I_r}{I_i} \quad (5.8)$$

en donde:

Γ = coeficiente de reflexión.

E_i = voltaje incidente.

E_r = voltaje reflejado.

I_i = corriente incidente.

I_r = corriente reflejada.

La relación de onda estacionaria también puede escribirse en términos del coeficiente de reflexión de la siguiente forma.

$$\Gamma = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (5.9)$$

5.9 ARREGLOS DE ANTENAS

Un arreglo de antena se forma cuando dos o más elementos de la antena se combinan para formar una sola antena. Un elemento de la antena es un radiador individual como un dipolo de $\frac{1}{2}$ o $\frac{1}{4}$ de onda. Los elementos se colocan físicamente de tal forma que sus campos de radiación interactúan entre sí, produciendo un patrón total de radiación que es la suma de los vectores de los campos individuales. El propósito de un arreglo es incrementar la directividad de un sistema de antenas y concentrar la potencia radiada dentro de un área geográficamente más pequeña.

En esencia, hay dos tipos de elementos de antenas: excitación y parásitos (no excitado). Los elementos de excitación se conectan directamente a la línea de transmisión y reciben potencia de o están excitados por la fuente.

Los elementos parásitos no se conectan a la línea de transmisión, reciben energía solamente a través de una inducción mutua con un elemento de excitación o con otro elemento parásito. Un elemento parásito que es más largo que el elemento de excitación de donde recibe energía se llama reflector.

Un Reflector reduce eficazmente la intensidad de la señal que esta en su dirección e incrementa la que esta en dirección opuesta. Por tanto , actúa como un espejo cóncavo. Esta acción ocurre porque la onda que esta pasando a través del elemento parásito induce un voltaje que se invierte 180° con relación a la onda que lo indujo. El voltaje inducido produce una corriente en fase y el elemento irradia (en realidad vuelve a radiar la energía que acaba de recibir). La energía irradiada instala un campo que cancela en una dirección y refuerza en la otra.

Un elemento parásito que es mas corto que su elemento de excitación asociado se llama director. Un director incrementa la intensidad del campo en su dirección y la reduce en la dirección opuesta. Por tanto, actúa como una lente convexa convergente. Esto se muestra en la figura 5.6.

La directividad de radiación se puede incrementar ya sea en el plano horizontal o vertical, dependiendo de la colocación de los elementos y si están excitados. Si no están excitados, el patron depende de que los elementos sean directores o reflectores. Si se excitan, el patron depende de la fase relativa de los alimentadores.

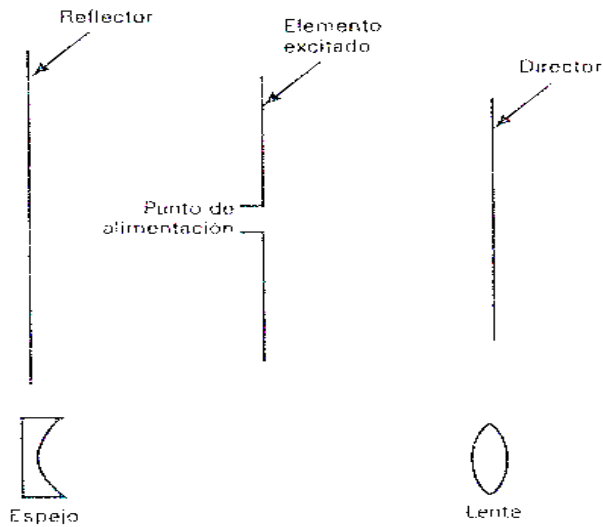


Figura 5.6: ARREGLO DE ANTENA

5.9.1 ARREGLO DE ELEMENTOS LINEALES

Uno de los métodos más comunes de obtener ganancia directiva es formando un arreglo de varias antenas individuales, espaciadas y en fase de tal forma que sus contribuciones individuales se sumen en una dirección requerida mientras se cancelan en otras. Cada arreglo es conocido como un "Arreglo de Antenas."

Los arreglos de antenas pueden tener varias configuraciones, lineales, rectangulares, circulares, triangulares, configuraciones tridimensionales, todas con amplitudes y fases diferentes, se puede formar un sin número de

arreglos, pero afortunadamente años de experiencia han reducido esto, en la practica son relativamente pocas.

Los arreglos de antenas tienen un amplio rango de aplicaciones, pueden ser usadas en forma simplificada en frecuencias tan bajas como 1Mc ($\lambda = 300 \text{ m}$) o menos, mientras que por otro lado algunas veces son usadas en frecuencias tan altas como 1000Mc ($\lambda = 30 \text{ cm}$) o más.

Para el caso de dos antenas de dipolo corto espaciadas a lo largo del eje "x" con "A" longitud de onda y difieren en fase con "B" periodos de oscilación, el radio de patrón de onda es dado por:

$$R = \cos \Pi (A \cos \varphi \text{ sen } + B) \text{ sen } \theta \quad (5.10)$$

Donde φ y θ son los ángulos mostrados en la figura 5.7.

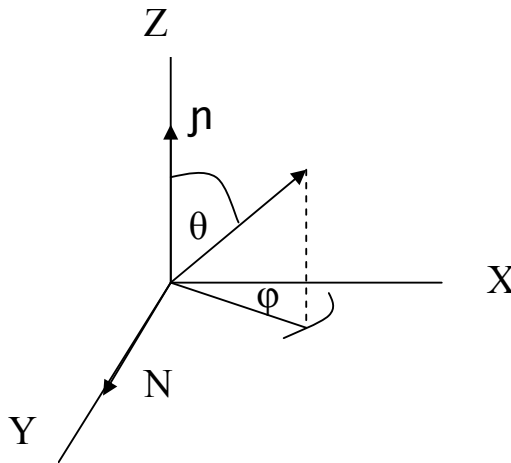


Figura 5.7: SISTEMA COORDENADAS TRIDIMENSIONAL

5.9.2 ANTENAS DE ARREGLOS EN FASE.

Una antena de arreglo en fase es un grupo de antenas o un grupo de arreglos de la antena que, cuando se conectan, funcionan como una sola antena cuyo ancho de haz y dirección (o sea, patrón de radiación) puede cambiarse electrónicamente sin tener que mover físicamente ninguna de las antenas individuales o los elementos de la antena dentro del arreglo. La ventaja principal de las antenas de arreglo de fase es que eliminan la necesidad de girar en forma mecánica los elementos del arreglo. En esencia un arreglo en fase es una antena cuyo patrón de radiación puede ajustarse o cambiarse electrónicamente. La aplicación principal del arreglo en fase es en radares, donde los patrones de radiación deben ser capaces de cambiar rápidamente para seguir un objeto en movimiento.

El principio básico del arreglo de fase se basa en la interferencia entre las ondas electromagnéticas en espacio libre. Cuando las energías electromagnéticas de diferentes fuentes ocupan el mismo espacio al mismo tiempo, se combinan, a veces en forma constructiva (auxiliándose entre sí) y a veces en forma destructiva (oponiéndose entre sí).

Hay dos tipos básicos de arreglos de fase. En el primer tipo, un solo dispositivo de salida de potencia relativamente alta suministra la potencia de

transmisión a un gran número de antenas a través de un conjunto de derivadores de potencia y desplazadores de fase. Una combinación compleja de atenuadores ajustables y retardos de tiempo determinan que cantidad total de la potencia de transmisión va a cada antena y la fase de la señal. La cantidad de pérdidas en los atenuadores y el desplazamiento de fase introducidos en los retardos de tiempo se controla por computadora. Los retardos de tiempo pasan la señal de RF sin distorsionarla, más que para proporcionar específica de retardo de tiempo (desplazamiento de fase).

El segundo tipo de antenas de arreglos de fase utiliza aproximadamente tantos dispositivos de salida variable de baja potencia como elementos para irradiar, y la relación de arreglo de fase entre las señales de salida se controla con desplazadores de fase. En ambos tipos de arreglos de fase, el patrón de radiación se selecciona cambiando el retardo de fase introducido por cada desplazador de fase.

La figura 5.8 muestra una antena de arreglo de fase que utiliza varios elementos idénticos para cada antena, cada uno con su propio retardo de fase ajustable.

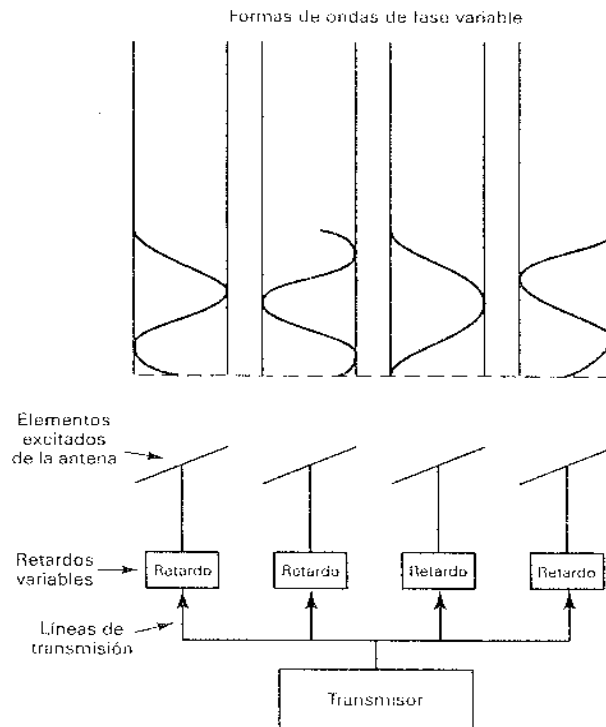


Figura 5.8: ARREGLO DE ANTENA DE FASE.

5.10 ANTENAS DE PROPÓSITO ESPECIAL

5.10.1 DIPOLO PLEGADO

Un dipolo plegado de dos cables y su patrón asociado de onda estacionaria de voltaje se muestra en la figura 5.9(a). El dipolo plegado es esencialmente

una sola antena hecha con dos elementos. Un elemento se alimenta directamente, mientras que el otro está acoplado conductivamente en los extremos. Cada elemento es de media longitud de onda. Sin embargo, debido a que la corriente puede fluir del otro lado de las orillas y una corriente de longitud de onda completa en la antena. Por tanto, para la misma potencia de entrada, la corriente de entrada será la mitad del dipolo básico de media onda y la impedancia de entrada es cuatro veces más alta.

La impedancia de entrada de un dipolo plegado es igual a la impedancia de media onda (72 ohmios) multiplicado por el número de cables plegados al cuadrado. Por ejemplo, si hay tres dipolos, como se muestra en la figura 5.9(b) la impedancia de entrada es $3^2 \times 72 = 648$ ohmios. Otra ventaja de un dipolo plegado sobre un dipolo básico de media onda es un ancho de banda mayor. El ancho de banda puede incrementarse aún más haciendo más grande en diámetro los elementos del dipolo (una antena así se llama apropiadamente un dipolo grueso). Sin embargo, los dipolos gruesos tienen distribuciones de corriente e impedancia característica de entrada ligeramente distintas a los dipolos delgados.

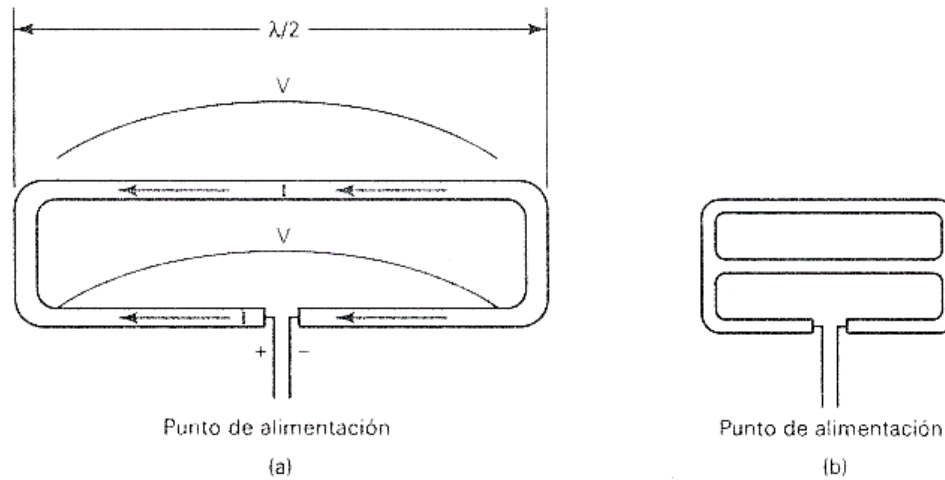


Figura 5.9: (a) DIPOLO PLEGADO; (b) DIPOLO PLEGADO DE TRES ELEMENTOS

5.10.2 ANTENAS YAGI - UDA

Una antena utilizada ampliamente que por lo regular usa un dipolo plegado como el elemento de excitación es la antena Yagi - Uda, que lleva el nombre de los dos científicos japoneses que lo inventaron y describieron su operación. A la Yagi - Uda por lo general se le llama solo Yagi. Una antena Yagi es un arreglo lineal que consiste de un dipolo y de dos o mas elementos parásitos; un reflector y uno o mas directores. Un Yagi sencillo de tres elementos se muestra en la figura 5.10(a). El elemento de excitación es un dipolo plegado de media longitud de onda. A este elemento se le menciona

como el elemento de excitación porque esta conectado a la línea de transmisión. Sin embargo se utiliza para recepción solamente.

El reflector es una barra recta de aluminio aproximadamente 5 % más larga que el dipolo, y el director se corta aproximadamente 5% más corto que el elemento de excitación. El espacio entre los elementos por lo general es entre 0.1 y 0.2 de longitud de onda. La figura 5.10(b) muestra el patrón de radiación para una antena Yagi.

La directividad típica para una Yagi es entre 7 y 9 dB. El ancho de banda de la Yagi se puede incrementar más de un dipolo plegado, cada uno cortado a una longitud ligeramente distinta. Por tanto, la antena Yagi se utiliza por lo regular para la recepción de VHF debido a su amplio ancho de banda (la banda TV de VHF se extiende de 54 a 216 Mhz).

5.10.3 ANTENA LOGARÍTMICA PERIÓDICA

Las ventajas principales de la antena logarítmicas periódicas es la independencia de su impedancia de radiación y de su patrón de radiación a la frecuencia. Las antenas logarítmicas periódicas tienen relaciones de ancho de banda de 10:1 o más. La relación de ancho de banda es de la frecuencia

mas alta con la frecuencia mas baja en la cual puede operar una antena. La relación de ancho de banda se suele utilizar en lugar de solo indicar el porcentaje del ancho de banda a la frecuencia central. La logarítmica periódica no es solo un tipo de antena mas bien una clase de antena , por que hay muchos tipos diferentes, algunos son bastantes inusuales. Las antenas logarítmicas periódicas pueden ser unidireccionales o bidireccionales y pueden tener unas ganancia directiva de bajo a moderado. Pueden obtenerse ganancias mayores utilizándolas como un elemento en un arreglo mas complicado.

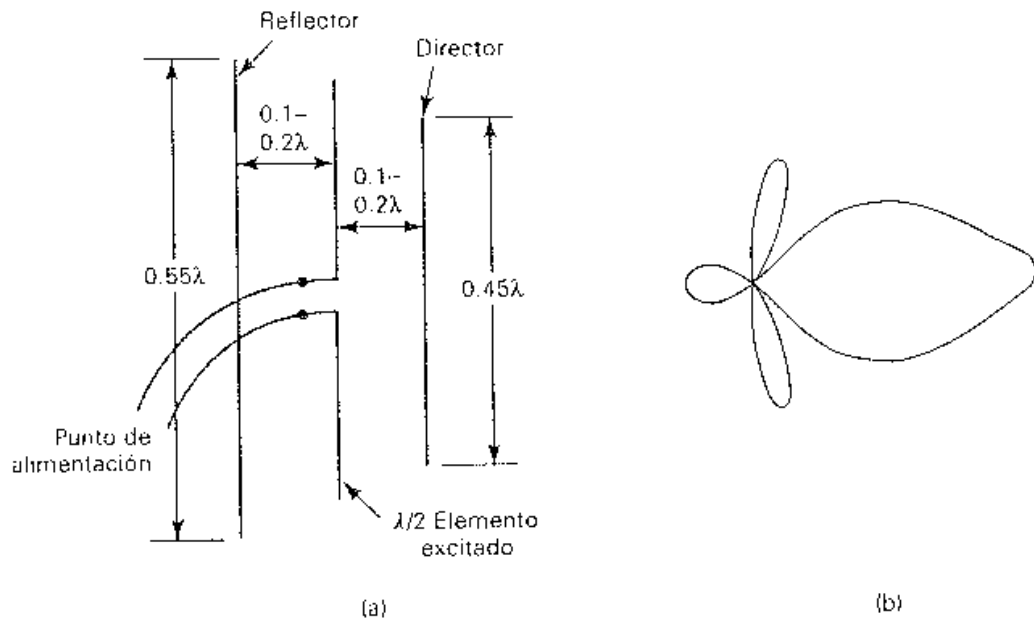


Figura 5.10: ANTENA YAGI-UDA (a) YAGI DE TRES ELEMENTOS; (b) PATRÓN DE RADIACIÓN

La estructura física de una antena logarítmica periódica es repetitiva, que resulta en un comportamiento repetitivo en sus características eléctricas, en otras palabras el diseño de una antena logarítmica periódica consiste de un patron geométrico básico que se repite, excepto con un patron de diferente tamaño.

Lo mas cercano que llega la logarítmica periódica es una antena convencional es probablemente a un arreglo básico de dipolo logarítmico periódico, y se muestra en la figura 5.11. Consiste de varios dipolos de diferentes longitud y espacios que son alimentados de una sola fuente en el extremo pequeño.

La linea de transmisión se cruza entre los puntos de alimentación de pares adyacentes de dipolos. El patron de radiación para una antena logarítmica periódica básica tienes radiación máxima hacia fuera del extremo pequeño. La longitud de los dipolos y su espaciado están relacionado de tal forma que los elementos adyacentes tienen una relación constante entre si. Las longitudes y los espaciados del dipolo esta relacionado por la formula:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} = \frac{1}{T} = \frac{L_2}{L_1} = \frac{L_3}{L_2} = \frac{L_4}{L_3} \quad (5.11)$$

Donde: R = Es el espaciado del dipolo

L = Longitud del dipolo

τ = relación de diseño < 1

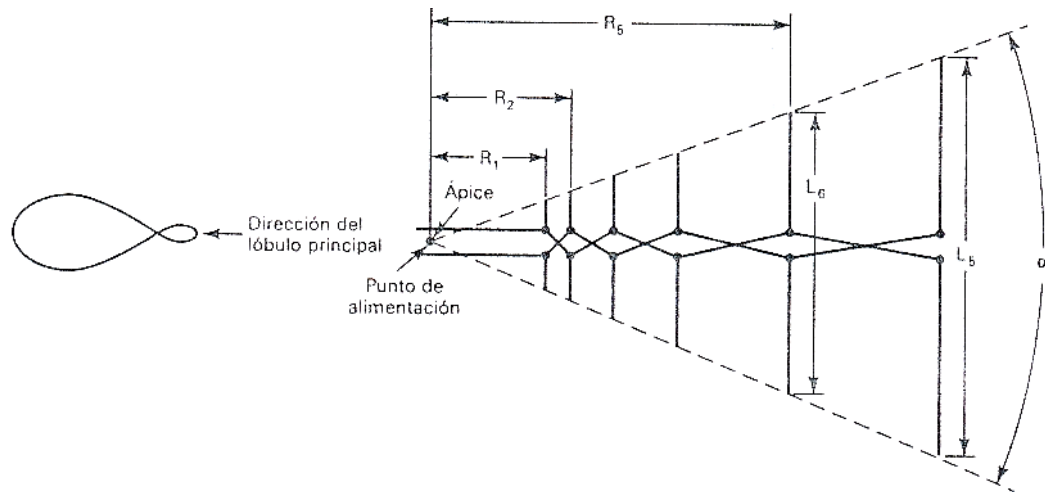


Figura 5.11: ANTENA LOGARÍTMICA PERIÓDICA

Los extremos de los dipolos se encuentran a lo largo de una línea recta, y el ángulo donde se encuentran esta designado como α . Para un diseño típico, $\tau = 0.7$ y $\alpha = 30^\circ$.

Con las estipulaciones estructurales anteriores, la impedancia de entrada de la antena varia repetidamente cuando se traza como función de frecuencia, y cuando se traza contra el logaritmo de la frecuencia, varia periódicamente

(Por eso el nombre de logarítmica periódica). Un trazo típico de la impedancia de entrada se muestra en la figura 5.12.

Aunque la impedancia de entrada varia periódicamente, las variaciones no son necesariamente sinusoidales. Además, el patrón de radiación, la directividad, ganancia de potencia, y el ancho del haz experimentan una variación similar en la frecuencia.

La magnitud de un periodo de frecuencia logarítmica, depende de la relación de diseño y, si suceden dos máximos consecutivos en las frecuencias f_1 y f_2 , están relacionadas por la fórmula:

$$\log f_2 - \log f_1 = \log(f_2/f_1) = \log(1/\tau) \quad (5.12)$$

Por tanto, las propiedades medidas de la antena logarítmica periódica en la frecuencia f tendrán propiedades idénticas en las frecuencias τf , $\tau^2 f$, $\tau^3 f$, etc.

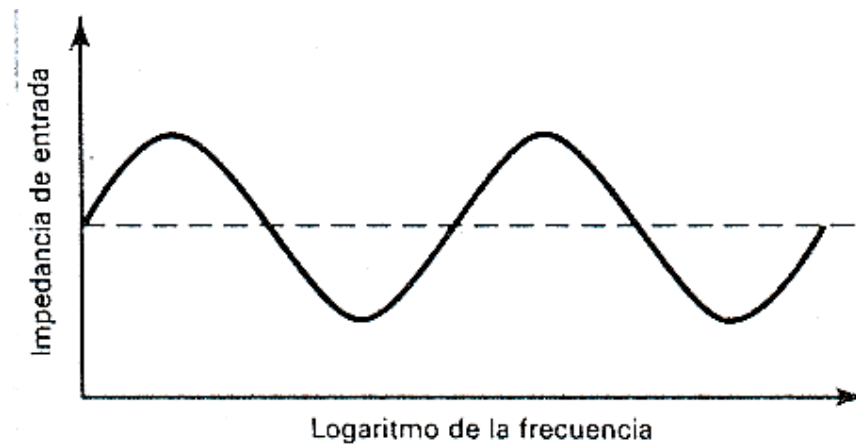


Figura 5.12: IMPEDANCIA DE ENTRADA LOGARÍTMICA PERIÓDICA CONTRA FRECUENCIA

5.11 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.

Una línea de transmisión es un sistema conductor metálico que se utiliza para transferir energía eléctrica de un lugar a otro. Más específicamente, una línea de transmisión son dos o más conductores separados por un aislante, como un par de cables o un sistema de par de hilos.

5.11.1 TIPOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.

Las líneas de transmisión pueden clasificarse generalmente como balanceadas o desbalanceadas. Con líneas balanceadas de dos cables, ambos conductores llevan una corriente; un conductor lleva la señal y el otro es el regreso. Este tipo de transmisión se llama transmisión de señal diferencial o balanceada.

Con una línea de transmisión desbalanceada, un cable se encuentra en el potencial de tierra, mientras que el otro cable se encuentra en el potencial de la señal. Este tipo de transmisión se llama transmisión de señal desbalanceada o de terminación sencilla. Con la transmisión de señal desbalanceada, el cable de tierra también puede ser la referencia a otros cables que llevan señales.

Las líneas de transmisión balanceadas pueden conectarse a líneas desbalanceadas, y viceversa, por medio de transformadores especiales llamados balunes¹.

¹ Balun, abreviatura del inglés, balanced-unbalanced, por conveniencia se lo abrevia balun.

5.11.2 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN COAXIAL O CONCÉNTRICAS.

Las líneas de transmisión de conductores paralelos son apropiadas para las aplicaciones de baja frecuencia. Sin embargo, en las frecuencias altas, sus pérdidas por radiación y pérdidas dieléctricas, así como su susceptibilidad a la interferencia externa son excesivas. Por tanto, los conductores coaxiales se utilizan extensamente, para aplicaciones de alta frecuencia, para reducir las pérdidas y para aislar las trayectorias de transmisión.

El cable coaxial básicamente consiste de un conductor central rodeado por un conductor exterior concéntrico (distancia uniforme del centro). A frecuencias de operación relativamente altas, el conductor coaxial externo proporciona una excelente protección contra la interferencia externa. Sin embargo, a frecuencias de operación mas bajas, el uso de la protección no es costeable. Además, el conductor externo de un cable coaxial generalmente esta unido a tierra, lo que limita su uso a las aplicaciones desbalanceadas.

Hay dos tipos de cables coaxiales: Líneas rígidas llenas de aire, y líneas sólidas flexibles. La figura 5.13(a) muestra una línea coaxial rígida de aire. Puede verse que el conductor central está rodeado en forma coaxial por un conductor externo tubular y el material aislante es el aire. El conductor

externo físicamente esta aislado y separado del conductor central por un espaciador, que generalmente está hecho de pirex, poli estireno, o algún otro material no conductor. La figura 5.13(b) muestra un cable coaxial sólido flexible. El conductor externo está trenzado, es flexible y concéntrico al conductor central. El material aislante es un material de polietileno sólido no conductor que proporciona soporte, así como aislamiento eléctrico entre el conductor externo y el interno. El conductor interno es un cable de cobre flexible que puede ser sólido o hueco.

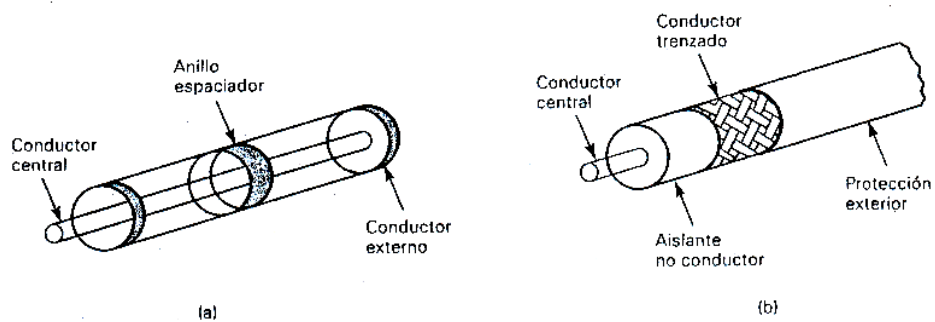


Figura 5.13: LINEA DE TRANSMISION CONCENTRICA O COAXIAL. (a) RIGIDAS LLENAS DE AIRE; (b) LINEA SÓLIDA FLEXIBLE.

5.11.2.1 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS.

- Impedancia característica (Ohm):

Es la relación tensión aplicada / corriente absorbida por un cable coaxial de longitud infinita. Puede demostrarse que, para un cable coaxial de longitud real conectado a una impedancia exactamente igual a la característica, el valor de la impedancia de la línea permanece igual al de la impedancia característica.

Cabe recordar que en un sistema que trabaja a máxima eficiencia, la impedancia del transmisor, la del receptor y la del cable deben ser iguales, de no ser así se producirán reflexiones que degradarán el funcionamiento del sistema. La impedancia característica no depende de la longitud del cable ni de la frecuencia. Los valores nominales para los cables coaxiales son 50, 75 y 93 Ohmios.

- Impedancia transferencia (Ohm/m):

Define la eficiencia del blindaje del conductor externo. Expresada habitualmente en miliohm por metro. Cuanto más pequeño es el valor, mejor

es el cable a los efectos de la propagación al exterior de la señal transmitida y de la penetración en el cable de las señales externas.

- Capacidad (F/m):

Es el valor de la capacidad eléctrica, medida entre el conductor central y el conductor externo, dividida por la longitud del cable. Se trata de valores muy pequeños expresados en pico faradios por metro. Varía con el tipo de material aislante y con la geometría del cable.

- Velocidad de propagación (%):

Es la relación, expresada porcentualmente, entre la velocidad de propagación de la señal en el cable y la velocidad de propagación de la luz en el vacío. Varía con el tipo de material aislante, en función de su constante dieléctrica.

- Atenuación (dB/m):

Es la pérdida de potencia, a una determinada frecuencia, expresada generalmente en decibel cada 100 metros. Varía con el tipo de material

empleado y con la geometría del cable, incrementándose al crecer la frecuencia.

- Potencia transmisible (W):

Es la potencia que se puede transmitir a una determinada frecuencia sin que la temperatura del cable afecte el funcionamiento del mismo. Disminuye al aumentar la frecuencia y se mide en Watt.

- Tensión de trabajo (kV):

Es la máxima tensión entre el conductor externo e interno a la cual puede trabajar constantemente el cable sin que se generen las nocivas consecuencias del "efecto corona" (descargas eléctricas parciales que provocan interferencias eléctricas y, a largo plazo, la degradación irreversible del aislante).

- Structural return loss (S.R.L.):

Son las pérdidas por retorno ocasionadas por falta de uniformidad en la

construcción (variación de los parámetros dimensionales) y en los materiales empleados, que producen una variación localizada de impedancia, provocando un "rebote" de la señal con la consiguiente inversión parcial de la misma.

5.11.2.2 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS.

A continuación se presenta un resumen de los principales materiales empleados para la construcción de cables coaxiales.

A) Conductor central:

- Cobre electrolítico, con pureza superior al 99% y resistividad nominal a 20°C de 17,241 Ohm mm² / km.
- Cobre estañado, limitado a los cables empleados en aparatos que requieran buenas condiciones de soldabilidad (su uso incrementa la atenuación con respecto al cobre solo).
- Cobre plateado, para mejorar la atenuación a altísima frecuencia y por su estabilidad química en presencia de dieléctricos fluorados.

- Acero cobreado (copperweld), alambre obtenido por trefilación de cobre sobre un alma de acero. Si bien su conductividad normal es del 30% al 40% de la del cobre, a altas frecuencias (Mhz) su conductividad es prácticamente idéntica a la del cobre, a raíz del efecto pelicular (skin effect); mientras la carga de rotura mínima es 77 kg / mm^2 y el alargamiento el 1% mínimo. Este material se emplea por razones mecánicas en los cables de secciones menores.

B) Aislante:

- Polietileno compacto: es el material más empleado como aislante en los cables coaxiales, a raíz de su excelente constante dieléctrica relativa (2,25) y rigidez dieléctrica (18 kV/mm).
- Polietileno expandido: se obtiene introduciendo en el polietileno sustancias que se descompongan con la temperatura generando gases, con la particularidad de que los poros quedan uniformemente distribuidos y sin comunicación entre sí. La misma expansión se puede obtener con inyección de gas en el momento de la extrusión, obteniendo características eléctricas superiores. Este material, de reducida constante dieléctrica (1,4 / 1,8, dependiendo del grado de expansión) y bajo factor de pérdida ($\text{tg} \delta = 0,2 \cdot 10^{-3}$), permite lograr

una notable reducción de la atenuación, comparándola con el uso de polietileno compacto.

- Polietileno/aire: es obtenido por la aplicación de una espiral de polietileno alrededor del conductor central, a su vez recubierto con un tubo extruido de polietileno.
- Tefzel (copolímero etileno - tetrafluoroetileno): se emplea para temperaturas entre -50°C a $+155^{\circ}\text{C}$, con una constante dieléctrica de 2,6 y una rigidez dieléctrica de 80 kV/mm.
- Teflón FEP (copolímero tetrafluoroetileno - hexafluoropropileno): se emplea para temperaturas entre -70°C y $+200^{\circ}\text{C}$, con constante dieléctrica de 2,1 y rigidez dieléctrica de 50 kV/mm.

Estos dos últimos materiales se emplean, además de las aplicaciones de altas temperaturas para aplicaciones militares, electrónica, misiles, etc., en donde se requiera gran resistencia a los agentes químicos orgánicos e inorgánicos.

C) Conductor externo:

- Cobre: generalmente bajo la forma de trenza constituida por 16, 24 o 36 husos, con ángulos entre 30 y 45°.
- Cobre estañado: cuando se necesitan buenas condiciones de soldabilidad.
- Cobre plateado: en presencia de aislantes fluorados (estabilidad química).
- Cintas de aluminio/poliéster y aluminio/polipropileno: aplicadas debajo de la trenza reducen notablemente el efecto radiante y disminuyen la penetración de señales externas.

D) Cubierta externa:

- Cloruro de polivinilo (PVC): es el material más empleado como cubierta, pudiéndose modificar sus características en función de exigencias específicas (bajas o altas temperaturas, no propagación del incendio, resistencia a los hidrocarburos, etc). Uno de los requisitos básicos para el PVC de la cubierta es no contaminar, con la migración

de su plastificante, el aislante interno; si esto ocurre, al cabo del tiempo se pueden deteriorar las características eléctricas del aislante, produciéndose un constante aumento de la atenuación.

- Polietileno: con una adecuada dispersión de negro de humo para mejorar su resistencia a las radiaciones ultravioletas.
- Materiales fluorados (Tefzel y Teflón FEP): para empleo con altas temperaturas o en presencia de agentes químicos.
- Poliuretano: cuando se necesiten buenas características mecánicas.

E) Armaduras:

Alambres de acero: puestos bajo la forma de trenza o espiral, para instalaciones subterráneas.

F) Elementos autoportantes:

En las instalaciones aéreas para sustentar el cable se emplean construcciones especiales que prevén un alambre o cuerda de acero paralelo

al cable coaxial envolviendo los dos elementos, conjuntamente con una cubierta de PVC o polietileno, formando un perfil en forma de "ocho".

5.11.2.3 ELECCIÓN DEL CABLE COAXIAL.

Los cables coaxiales se eligen en base a los siguientes parámetros, que son impuestos por el circuito al que deberán ser conectados:

- Impedancia característica (50, 75 o 93 Ohm)
- Frecuencia de trabajo (de 100 kHz a 3000 MHz)
- Atenuación máxima (de 1 a varios cientos de dB/100 m.) y/o potencia máxima (de unos pocos W hasta algún kW, referido a una frecuencia de trabajo).
- Capacidad (de 30 a 100 pF/m).
- Máxima tensión de señal.

Aunque de menor importancia, en ciertas aplicaciones se requiere considerar también la velocidad de propagación y la impedancia de transferencia.

Una vez definida la impedancia se puede elegir el cable operando sobre el correspondiente gráfico de los cables normalizados; con el valor de la

frecuencia de trabajo se individualiza el punto de intersección correspondiente a la atenuación o potencia. Es suficiente adoptar el valor del diámetro D inmediatamente superior para definir en forma unívoca el tipo de cable adecuado.

En caso de no encontrarse un cable normalizado se deberá recurrir a un diseño especial.

5.11.2.4 NORMAS DE APLICACIÓN.

La especificación más difundida que rige la fabricación de los cables coaxiales es la norma militar del gobierno de los Estados Unidos MIL-C-17 que, además de las características dimensionales y eléctricas, define una sigla que identifica a cada tipo de cable. Todos los cables coaxiales están definidos con las letras RG (radiofrecuencia - gobierno) seguida por un número (numeración progresiva del tipo) y de la letra U (especificación universal) o A/U, B/U, etc. que indican sucesivas modificaciones y sustituciones al tipo original.

5.11.2.5 ALGUNOS CABLES TÍPICOS.

A) De 50 Ohm:

Utilizado en comunicaciones e intercomunicación de instrumentación de todo tipo: Interfaces, PC, equipos e instrumental de laboratorio, etc. El más utilizado es el RG-58 estañado pero se fabrican en un gran número de variantes para cubrir los distintos requerimientos eléctricos y mecánicos. Por ejemplo, los cables que tienen cuerda de cobre, priorizan la flexibilidad y los de aislamiento FOAM poseen mejores desempeños eléctricos. Para radiofrecuencia, computación y antenas.

B) De 75 Ohm:

Aislamiento compacto: Para radiofrecuencia, CCTV, CATV, señales de televisión y FM. El RG-59 es el coaxial de 75 Ohm de mayor venta en el mercado debido a sus excelentes características eléctricas y mecánicas combinadas con un bajo costo. Para tendidos de gran longitud se utiliza el RG-11 de mayor diámetro y por lo tanto menores pérdidas.

Aislamiento FOAM: Los coaxiales de aislamiento FOAM (espuma), tienen menor atenuación de la señal que transportan que los de aislamiento

compacto y mejores prestaciones a frecuencias elevadas. Combinan bajo peso y costo con un excepcional rendimiento eléctrico donde no se requiera gran resistencia mecánica. Además de la malla metálica, posee una pantalla de aluminio que garantiza una cobertura y blindaje del 100%.evitando interferencia externas.

5.12 TORRES PARA LA INSTALACION DE LAS ANTENAS.

Aunque no forman parte de la teoría de las antenas, pensamos que es de mucha importancia tener ciertos conocimientos elementales sobre las estructuras aceradas sobre las cuales descansan las antenas de comunicaciones. En esta parte se explica a manera sencilla las clases de torres que se utilizan para la instalación de las antenas; así como, ciertas recomendaciones elementales para la instalación de la torre que se elija para el montaje de cualquier antena.

Existen dos tipos de torres:

-Arriostradas o llamadas comúnmente de viento

-Auto soportada

5.12.1 TORRES VIENTO ARRIOSTRADAS

Una torre arriostrada, se le denomina a aquella estructura metálica que requiere de arriostres para sustentarse, es decir, necesita retenidas en cada una de sus aristas y a diferentes alturas para mantenerse en pie y los muertos (dados de concreto armado) interactúan en relación directa a su peso respecto al equilibrio que debe existir para contrarrestar los diferentes factores que tratan de desestabilizarla. Las torres arriostradas se implementan cuando el área o terreno disponible para la implementación es grande.

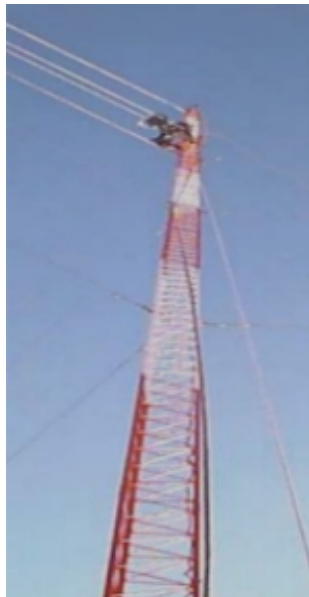


Figura 5.14: TORRE ARRIOSTRADA O DE VIENTO

5.12.2 TORRES AUTOSOPORTADAS

Una torre auto soportada o auto sustentada, se le denomina a aquella estructura metálica que se puede soportar por si misma, es decir, no requiere de elementos externos para sostenerse como en el caso de las torres arriestradas, las cuales necesitan de las retenidas para mantenerse en pie. Se las utiliza cuando el área de implementación de pequeño. Algunos ejemplos de este tipo de torre se muestran la figuras 5.15.



Figura 5.15 : EJEMPLOS DE TORRES AUTOSOPORTADAS

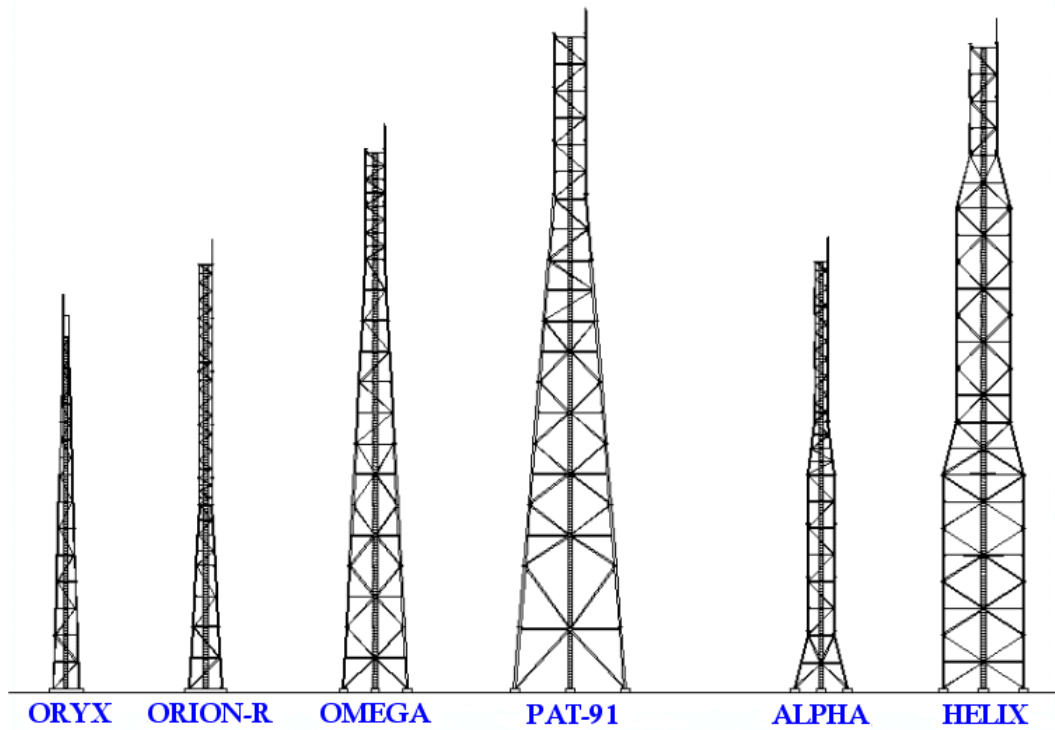


Figura 5.15 (continuación): EJEMPLOS DE TORRES AUTOSOPORTADAS

5.12.3 IMPLEMENTACION DE UNA TORRE

Tanto las torres auto soportadas como las arriostradas para su implementación básicamente se componen de:

- Estructura principal tubular triangular
- Escaleras de ascenso y descenso

- Cama de guía de ondas vertical y horizontal
- Plataforma de trabajo
- Sistema de protección contra descargas atmosféricas
- Sistema de iluminación o balizamiento nocturno
- Pintura o balizamiento diurno.
- Aterrizaje de la torre

5.12.3.1 ESTRUCTURA PRINCIPAL TUBULAR TRIANGULAR

La conforman las piernas, cerramientos horizontales, cerramientos diagonales, cerramientos secundarios, placas de unión de cerramientos diagonales y secundarios, diafragmas y tornillería

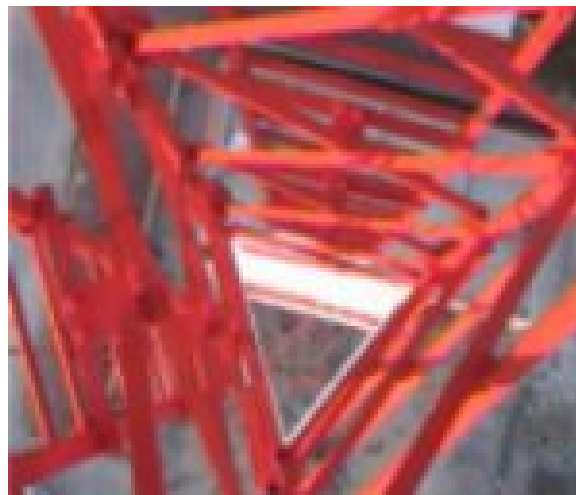


Figura 5.16: ESTRUCTURA TUBULAR

5.12.3.2 ESCALERAS DE ASCENSO Y DESCENSO

Piernas. Tramos de escalera, I mixta, jota, placa de unión de escalera, ángulo y solera para sujeción de escalera con cruces de diagonales, varillas roscadas y tornillería.



Figura 5.17: ESCALERA DE ASCENSO Y DESCENSO

5.12.3.3 CAMA DE GUIA DE ONDAS VERTICAL Y HORIZONTAL

Tramos de cama de guía de onda, I mixta, jota, I reforzada, placa de sujeción en mástil de cúspide, placa de unión de escalera, curva vertical de cama de guía de onda, curva horizontal de cama de guía de onda, herraje de sujeción

de ménsula, casco giratorio, abrazaderas, poste soporte tipo universal y tornillería.



Figura 5.18: CANALETAS

5.12.3.4 PLATAFORMA DE TRABAJO

Plataforma de trabajo, tubos de 3" de diámetro, ced. 40, l= 3mts. Incluye: abrazaderas para colocación de soportes en plataforma para colocar antenas, base para plataforma y tornillería y herrajes para su correcta instalación



Figura 5.19: PLATAFORMA DE TRABAJO

5.12.3.5 SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS

Pararrayos dipolo ep-d con mástil de duraluminio de 3m, cable de 2/0 de cobre forrado thw, abrazaderas metálicas sin fin, electrodo profesional parres para la fosa de descarga con relleno especial ep-tr, agregado electrolito y soldadura cadwell.



Figura 5.20: PARARRAYOS

5.12.3.6 SISTEMA DE ILUMINACIÓN O BALIZAMIENTO

Faro beacon en la punta y cuatro lámparas de obstrucción (2 a la mitad y dos a $\frac{3}{4}$ de la torre) con mica roja, fotocelda de control, cableado correspondiente para su correcta instalación y controlador alarmado.

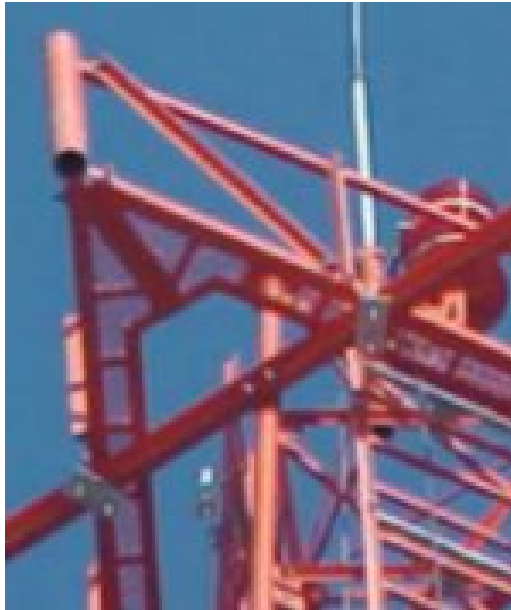


Figura 5.21: ILUMINACION

5.12.3.7 PINTURA O BALIZAMIENTO DIURNO

Pintura acrílica o látex base agua o poliuretano en colores naranja y blanco.

Aplicar conforme a norma internacional, es decir, 7 franjas, 4 naranjas y tres blancos, siempre se inicia con naranja y se termina con naranja.



Figura 5.22: PINTURA DE TORRE

5.12.3.8 ATERRIZAJE DE LA TORRE

Soldar con cadwell cable de 2/0 de cobre forrado a cada una de las piernas de la torre y con soldadura cadwell aterrizarlal al sistema de tierras.



Figura 5.23: ATERRIZAJE DE LA TORRE

5.12.4 CIMENTACIÓN

La cimentación o anclaje u obra civil necesaria para desplantar una torre auto soportada es de suma importancia, ya que de esta depende la seguridad de la torre, sobre todo el momento de volteo y su resistencia a las fuerzas que presentan las cargas que soporta la torre (resistencia al viento) y del peso de toda la estructura. Para la memoria de calculo de la cimentación, se necesitan de los resultados de la mecánica de suelo del área donde se instalara la torre con el objeto de efectuar los cálculos mas realistas posibles y en congruencia con las características del terreno.

CAPITULO VI

PRINCIPIOS DE LAS COMUNICACIONES SATELITALES

6.1 INTRODUCCION

En 1945 el escritor británico de ciencia-ficción *Arthur C. Clark* en octubre de 1945 publicó en la revista británica *Wireless World* el artículo titulado “Extra-Terrestrial Relays” en el cual incluía la propuesta de un sistema de comunicación global utilizando estaciones espaciales hechas por el hombre.

Este sueño comenzó a transformarse en realidad con el desarrollo del primer satélite artificial: el SPUTNIK (satélite o *compañero de viaje* en ruso), el cual fue lanzado en octubre de 1957 en una órbita elíptica de baja altura. Este satélite sólo emitía un tono intermitente, y estuvo en funcionamiento durante 21 días, marcando así el inicio de la era de las comunicaciones vía satélite.

6.2 SATELITES GEOERSTACIONARIOS

Los satélites geoestacionarios o geosincrónicos son equipos que giran en un patrón circular, con una velocidad angular igual a la de la tierra.

Consecuentemente, permanecen en una posición fija con respecto a un punto específico en la tierra. Una ventaja obvia es que están disponibles para todas las estaciones de la tierra, dentro de su sombra, 100% de las veces. La sombra de un satélite incluye a todas las estaciones de la tierra que tienen un camino visible a el y están dentro del patrón de radiación de las antenas del satélite. Una desventaja obvia es que a bordo, requieren de dispositivos de propulsión sofisticados y pesados para mantenerlos fijas en una órbita. El tiempo de órbita de un satélite geosincrónico es de 24 h, igual que la tierra.

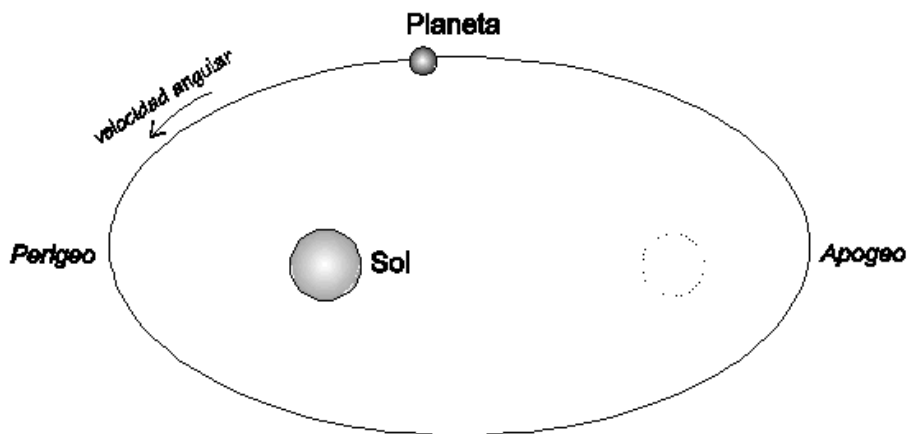


Figura 6.1 ORBITA DE UN SATELITE

Probablemente el primer satélite repetidor totalmente activo fue el COURIER, lanzado por el Departamento de Defensa de los EE.UU. en octubre de 1960. Este transmitía conversaciones y telegrafía, y aunque solo duró 70 días fue el primer satélite que usó celdas solares.

El SYNCOM 3 fue el primer satélite de órbita geoestacionaria, lanzado por la NASA en febrero de 1963 desde los EE.UU. Entre otras aplicaciones, se utilizó para transmitir los Juegos Olímpicos de 1964.

El INTELSAT I mejor conocido Pájaro madrugador o Early Bird fue el primer satélite internacional de órbita geosíncrona, lanzado por el consorcio internacional INTELSAT desde los EE.UU. en abril de 1965, y colocado sobre el Océano Atlántico.

El sistema MOLNIYA relámpago en ruso fue la primera red satelital doméstica, y fue lanzado en 1967 por la Unión Soviética, consistía en una serie de 4 satélites en órbitas elípticas con una cobertura de 6 horas por satélite.

Desde los proyectos SYNCOM, un número de naciones y corporaciones privadas han lanzado, de manera exitosa, satélites que se están usando actualmente para proporcionar comunicaciones regionales y globales, así

como internacionales. Hay mas de 200 sistemas de comunicaciones por satélite funcionando en el mundo, hoy en día. Proporcionan circuitos de datos y teléfono de portadora común fija mundial; televisión de cable punto a punto (CATV); distribución de televisión en red; radiodifusión de música; servicio de telefonía móvil; redes privadas para corporaciones, agencias del gobierno y aplicaciones militares.

En 1964, se estableció una red de satélite comercial global conocida como INTELSAT (ORGANIZACIÓN SATELITAL PARA TELECOMUNICACIONES INTERNACIONALES). Intelsat es propiedad y operada por un consorcio de mas de 100 países. Intelsat es manejada por las entidades de comunicaciones designadas en sus países respectivos. El primer satélite Intelsat fue EARLY BIRD I, el cual fue lanzado en 1965 y proporcionaba 480 canales de voz. De 1966 a 1987, se lanzaron una serie de satélites designados, INTELSAT II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX. INTELSAT VI tiene capacidad de 80.000 canales de voz, pero en el futuro contara también con el APR-1 y los INTELSAT X.

6.3 TIPOS DE ORBITAS SATELITALES

Existen varios tipos de órbitas de los satélites artificiales los cuales se clasifican de acuerdo a:

Su distancia de la Tierra (geostacionaria, geosíncrona, de baja altura, de media altura y excéntricas).

Su plano orbital con respecto al Ecuador (ecuatorial, inclinada y polar).

La trayectoria orbital que describen (circular y elíptica).

Órbita Geosíncrona: Es una órbita circular con un periodo de un día sideral. Para tener este periodo la órbita debe tener un radio de 42,164.2 km. (desde el centro de la tierra).

Órbita Geoestacionaria (GEO): Este tipo de órbita posee las mismas propiedades que la geosíncrona, pero deben de tener una inclinación de cero grados respecto al ecuador y viajar en la misma dirección en la cual rota la tierra. Un satélite geoestacionario aparenta estar en la misma posición relativa a algún punto sobre la superficie de la Tierra, lo que lo hace muy atractivo para las comunicaciones a gran distancia.

Órbita de Baja Altura (LEO): Estas órbitas se encuentran en el rango de 640 km a 1,600 km entre las llamadas región de densidad atmosférica constante y la región de los cinturones de Van Allen. Los satélites de órbita baja circular son muy usados en sistemas de comunicaciones móviles.

Órbitas de Media Altura: Son las que van desde 9,600 Km hasta la altura de los satélites geosíncronos. Los satélites de órbita media son muy usados también en las comunicaciones móviles.

Órbita Ecuatorial: En este tipo de órbita la trayectoria del satélite sigue un plano paralelo al ecuador, es decir tiene una inclinación de 0.

Órbitas Inclínada: En este curso la trayectoria del satélite sigue un plano con un cierto ángulo de inclinación respecto al ecuador.

Órbitas Polar: En esta órbita el satélite sigue un plano paralelo al eje de rotación de la tierra pasando sobre los polos y perpendicular la ecuador.

Órbitas circulares: Se dice que un satélite posee una órbita circular si su movimiento alrededor de la tierra es precisamente una trayectoria circular. Este tipo de órbita es la que usan los satélites geosíncronos.

Órbitas elípticas (Monlniya): Se dice que un satélite posee una órbita elíptica si su movimiento alrededor de la tierra es precisamente una trayectoria elíptica. Este tipo de órbita posee un perigeo y un apogeo.

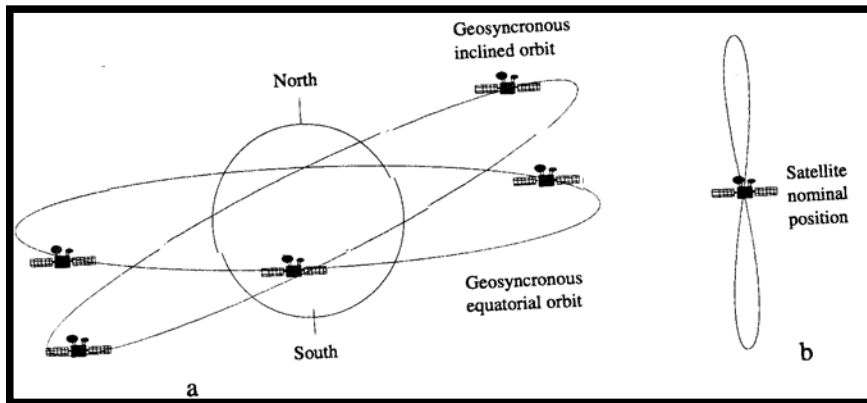


Figura 6.2 ORBITAS GEOESTACIONARIAS(a) E INCLINADAS(b).

6.4 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN DE UN SATELITE

BANDA	FRECUENCIA	SERVICIO	USOS
VHF	30-300 MHZ	FIJO	Telemetria
UHF	300-1000 MHZ	MOVIL	Navegación, militar
L	1-2 GHZ	MOVIL	Emission radio, Radiolocalizacion
S	2-4 GHZ	MOVIL	Navegacion
C	4-8 GHZ	FIJO	Voz, Datos, Video, Emision de Video
X	8-12 GHZ	FIJO	Militar
Ku	12-18 GHZ	FIJO	Voz, Datos, Video, Emision de Video
K	18-27 GHZ	FIJO	Emision de Video, com intersa-Telite
Ka	27-40 GHZ	FIJO	Emision de Video, com intersa-Telite

Tabla 6.1 FRECUENCIA DE OPERACIÓN

6.5 BEAM FOOTPRINT: HUELLAS DE UN SATELITE.

Uno de los requerimientos de diseño de las antenas de satélite es la ganancia mínima sobre una determinada área de cobertura. Los diagramas de radiación vistos en el espacio angular son distorsionados al realizar las proyecciones sobre la superficie terrestre.

La representación del contorno del diagrama de radiación sobre mapas de la tierra son conocidos como *beam footprints*.

El área de la tierra cubierta por un satélite depende de la ubicación del satélite en su órbita geosincrónica, su frecuencia de portadora y la ganancia de sus antenas. Los ingenieros satelitales seleccionan la frecuencia de la portadora y la antena para un satélite, en particular, para concentrar la potencia transmitida limitada en un área específica de la superficie de la tierra.

El patrón de radiación de una antena de satélite se puede catalogar como de PUNTO, ZONAL, o TIERRA (ver figura 6.3). Los patrones de radiación de las antenas de cobertura de tierra tienen un ancho de haz de casi 17° e incluye la cobertura de aproximadamente un tercio de la superficie de la tierra. Los haces de puntos concentran la potencia radiada en un área geográfica muy pequeña.

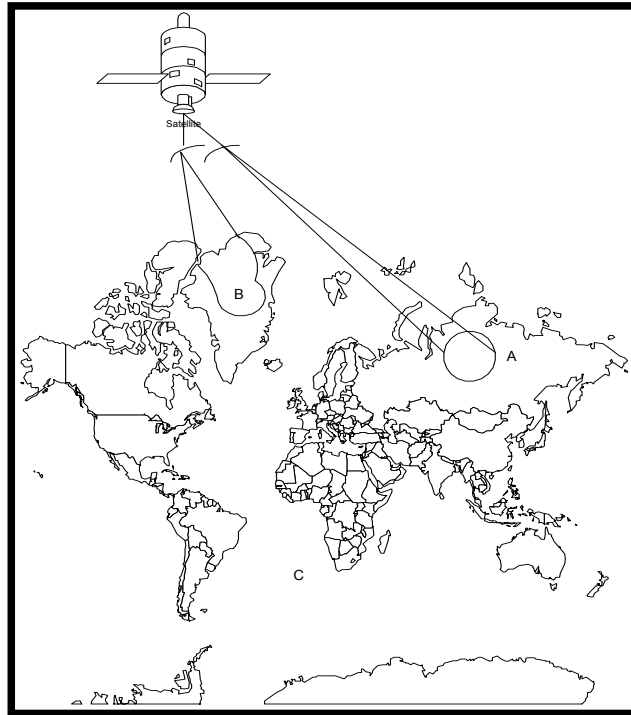


Figura 6.3 Haces A, Punto; B, Zonal; C, Tierra

6.6 TRANSPONDER.

Los transpondedores cumplen la misma función que el repetidor de un enlace de microondas, es decir, que reciben una señal de la tierra y la retransmiten nuevamente a la tierra tras ampliarla y haber convertido su frecuencia. Los recursos de satélite son compartidos por muchas estaciones terrenas de distintos tipos (A, B, C, D, E y F) y por lo tanto con distintas demandas.

Las frecuencias de las portadoras, más comunes, usadas para las comunicaciones por satélite, son las bandas 6/4 y 14/12 Ghz.

El primer numero es la frecuencia de subida (Ascendente) (Estación terrena a transponder) y el segundo numero es la frecuencia de bajada (Descendente) (Transponder a Estación terrena). Diferentes frecuencias de subida y de bajada se usan para prevenir que ocurra repetición. Entre mas alta sea la frecuencia de la portadora, más pequeño es el diámetro de la antena para una ganancia especifica. La mayoría de los satélites domésticos utilizan la banda de 6/4 Ghz.

Desdichadamente, esta banda también se usa extensamente para los sistemas de microondas terrestres. Se debe tener cuidado cuando se diseña una red satelital para evitar interferencia de, o interferencia con enlaces de microondas establecidos.

Una configuración típica es la que consiste en tomar canales de unos 36 MHz, para lo cual, en el ancho de banda de 500 MHz, se necesitan 12 transpondedores. Sin embargo, se puede aumentar la capacidad al doble si se utilizan polarizaciones ortogonales, siendo entonces 24 los transpondedores embarcados en el satélite para los mismos 500 MHz.

6.6.1 TRANSPONDER 6/4 GHZ.

Para enlaces descendentes de 4 GHz hay disponibles amplificadores basados en transistores, con potencias de salida de más de 20 W, por lo tanto, se pueden reemplazar los tubos de onda progresiva en estos transpondedores. En figura 6.4 se muestra un transpondedor para la banda C.

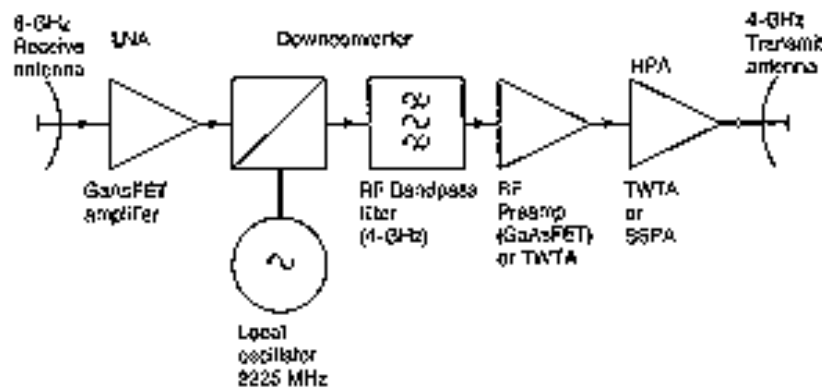


Figura 6.4 DIAGRAMA BASICO DE TRANSPONDER 6/4 GHZ

6.6.2 TRANSPONDER 14/11GHZ.

En cuanto a los enlaces de 11 GHz existen amplificadores de estado sólido, cuyas potencias de salida pueden exceder los 45 W, que solucionan el problema de los tubos de onda progresiva. El siguiente esquema es el de un transpondedor de la banda Ku.

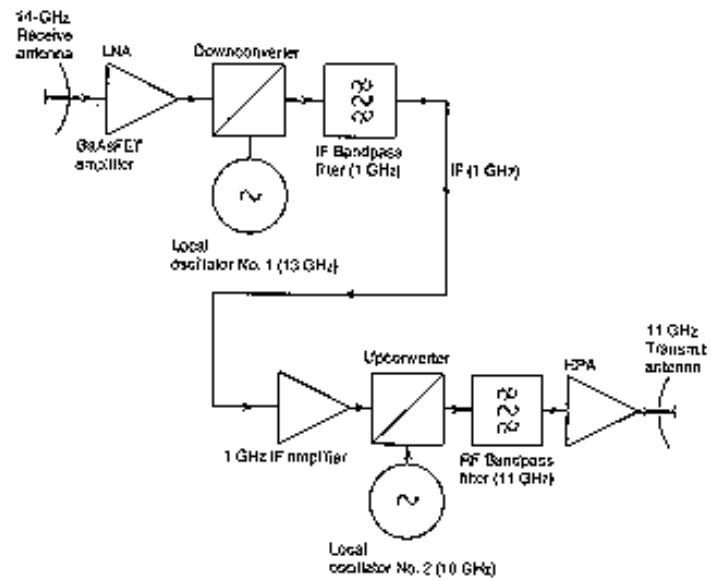


Figura 6.5 DIAGRAMA BASICO DE TRANSPONDER 14/11 GHZ

6.7 DISEÑO DE UN SISTEMA SATELITAL.

6.7.1 RELACION PORTADORA / RUIDO.

La relación portadora / ruido (C/N) de base en un sistema establece el rendimiento de transmisión de la parte RF del sistema y viene definida por el nivel de potencia de la portadora de recepción en comparación con el ruido a la entrada del receptor. En la figura se ilustra como los componentes del enlace afectan C/N de recepción y, a la larga, la calidad de servicio.

$$C/N = C - 10 \log(kTB) \quad (6.1)$$

Donde:

C = Potencia recibida en dBW

K = Constante de Boltzman, $1.38E-23 \text{W/}^\circ\text{K/Hz}$

B = Ancho de banda de ruido (o ancho de banda ocupado) en Hz

T = Temperatura absoluta del sistema de recepción en $^\circ\text{K}$

6.7.2 ECUACION DEL ENLACE

La ecuación del enlace formulada de manera general es:

$$C/N = \text{PIRE} - L + G - 10 \log KTB \quad (6.2)$$

Donde:

PIRE = Potencia isotrópica radiada equivalente (dBW)

L = Pérdidas de transmisión (dB)

G = Ganancia de la antena de recepción (dB)

Los tres primeros términos indican la potencia de la portadora recibida y el último, la potencia de ruido del sistema de recepción. La ecuación de enlace se aplica tanto al enlace ascendente como al descendente.

Por pérdidas de transmisión se entiende las pérdidas de transmisión debidas al espacio libre y cualquier otra pérdida de trayecto adicional.

6.7.3 POTENCIA ISOTROPA RADIADA EQUIVALENTE (PIRE)

La ganancia de una antena direccional permite hacer un uso más económico de la potencia de radiofrecuencia suministrada por la fuente. Por lo tanto la PIRE se expresa como función de la ganancia de transmisión de la antena (G_t) y de la potencia transmitida (P_t) que le llega a la misma.

$$\text{PIRE}_{\text{dBW}} = 10 \log P_{\text{T dBW}} + G_{\text{T dBi}} \quad (6.3)$$

Donde:

$P_{T \text{ dBW}}$ = Potencia de entrada a la antena (en dBW)

$G_{T \text{ dBi}}$ = Ganancia de la antena transmisora (en dBi)

La PIRE debe controlarse con precisión, para que no se produzcan interferencias en las portadoras adyacentes y cocanal (pire elevada) ni se deteriore la calidad del servicio (pire baja).

6.7.4 PERDIDAS DE TRANSMISIÓN

Las pérdidas de transmisión generalmente corresponde cuatro componentes:

$$L = L_0 + L_{\text{atm}} + L_{\text{rain}} + L_{\text{track}} \quad (6.4)$$

Donde.

L_0 = Pérdidas en el espacio libre

L_{atm} = Pérdidas atmosféricas

L_{rain} = Pérdidas debida a efectos de la lluvia

L_{track} = Pérdidas debidas a errores de seguimiento de antenas

6.7.5 PERDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE

Si una antena isótropa radia una potencia igual a P_t , la potencia del haz se distribuye uniformemente como una esfera centrada alrededor de la propia antena. La potencia a una distancia D del punto de transmisión surge de la siguiente ecuación:

$$W = P_T / 4\pi D^2 \dots (W / m^2) \quad (6.5)$$

Conforme la antena transmisora concentra la energía (es decir, tiene una ganancia), la ecuación pasa a ser:

$$W = G_T P_T / 4\pi D^2 \dots (W / m^2) \quad (6.6)$$

$$W_{dBWm^2} = PIRE_{dBW} - 20 \log D - 71 \text{dB} \quad (6.7)$$

Donde:

$$G_T P_T = \text{PIRE}$$

W = Nivel de iluminación

D = Distancia en Km

$$71 \text{ dB} = 10 \log(4\pi * 10E6)$$

Una antena receptora recoge la señal; la cantidad de señal recogida depende del tamaño de dicha antena. La potencia recibida (P_r) es :

$$P_r = W * A_e \quad (6.8)$$

Donde

$$A_e = \text{Apertura efectiva de la antena} = (\lambda^2 / 4\pi) / G_R$$

Luego:

$$P_r = [G_T P_T / 4\pi D^2] * [(\lambda^2 / 4\pi) / G_R] \quad (6.9)$$

$$P_r = G_T P_T * (\lambda / 4\pi D)^2 * G_R \quad (6.10)$$

La ecuación $[4\pi D / \lambda]^2$ se conoce como pérdida básica en el espacio libre

Lo. Dicha pérdida básica se expresa en decibelios de la siguiente forma:

$$L_o = 20 \log D + 20 \log f + 92.5 \text{ dB} \quad (6.11)$$

Donde:

D = distancia (en Km) entre el transmisor y el receptor

F = frecuencia (GHz)

$$92.5 \text{ dB} = 20 \log [(4\pi * 10^9 * 10^3) / c]$$

Si la ecuación (6.10) se expresa en decibelios, se obtiene:

$$Pr_{dbw} = PIRE - L_o + G_R \quad (6.12)$$

Si en la ecuación (6.12) se considera que G_R es la ganancia de una antena 1 m² con una eficiencia del 100%, Pr será el nivel de iluminación por unidad de superficie (dBW/m²) y, por lo tanto, el nivel de iluminación de la ecuación (6.7) también se podrá expresar de la siguiente manera:

$$W_{dBW/m^2} = PIRE - L_o + G_{1m^2} \quad (6.13)$$

6.7.6 PERDIDAS ATMOSFERICAS

Las pérdidas de señal pueden deberse también a la absorción por gases atmosféricos, como el oxígeno y el vapor de agua. Tal característica depende de la frecuencia, el ángulo de elevación, la altura sobre el nivel del mar y la humedad absoluta. A frecuencias inferiores a los 10 GHz, generalmente se las puede ignorar. Su importancia aumenta con las frecuencias superiores a los 10 GHz, especialmente para ángulos de elevación bajos. En la tabla 6.2 se ilustra un ejemplo del valor medio de las pérdidas atmosféricas para un ángulo de elevación de 10°.

PERDIDA ATMOSFERICA	FRECUENCIA (GHz)
0.25	2<f>5
0.33	5<f>10
0.53	10<f>13
0.73	13<f

Tabla 6.2 EJEMPLO DE ATENUACIÓN ATMOSFERICAS

6.7.6.1 EFECTOS DE LA LLUVIA

Un efecto atmosférico grave al que está expuesto un enlace por satélite es el de la lluvia. Esta atenúa las ondas radioeléctricas por dispersión, y además absorbe la energía de las mismas.

La atenuación por lluvia aumenta con la frecuencia, siendo más perjudicial en banda Ku que en banda C. Para lograr una disponibilidad adecuada del enlace se debe transmitir suficiente potencia adicional como para contrarrestar la atenuación adicional causada por la lluvia.

6.7.6.2 PERDIDAS DE SEGUIMIENTO

Al establecer un enlace por satélite, lo ideal es que la antena de la estación terrena esté alineada como para lograr un máximo de ganancia, pero en condiciones normales existe un pequeño nivel de pocos decimos de dB.

Esa pérdida de ganancia se puede estimar en base as al tamaño de la antena y el tipo y exactitud de seguimiento. Esto se debe hacerse al calcular tanto el enlace ascendente como el descendente. En las tablas 6.2 se indican valores típicos para las antenas en bandas C. Para diámetro de antenas mayores será necesario recurrir al seguimiento, y en esos casos el valor de las pérdidas por desalineación se puede considerar igual a 0.5 dB tanto para el enlace ascendente como para el descendente.

DIAMETRO ANTENA (m)	GANANCIA TRANSMISION 6 GHz (dBi)	GANANCIA RECEPCION 4 GHz (dBi)	PERDIDAS ENLACE ASCENDENTE dB	PERDIDAS ENLACE DESCENDENTE dB
1.2	35.6	32.1	0	0
1.8	39.2	35.6	0	0
2.4	41.7	38.1	0.4	0.2
3.6	45.6	42.1	0.7	0.4
7	51	47.4	0.9	0.9
11	54.9	51.4	0.5	0.5

Tabla 6.3 DESEMPEÑO ESTACIONES TERRENAS (BANDAC-EFICIENCIA ANTENAS 70%)

Para antenas de 1.2, 1.8, 2.4, 3.6 m el seguimiento es fijo, en cambio antenas de 7 m el seguimiento es Manual (ajustar el ángulo E-O semanalmente) y para antenas de 11m el seguimiento es escalonado.

6.7.7 VENTAJA DEL DIAGRAMA DE RADIACIÓN (Pattern Advantage)

El diagrama de radiación de las antenas de los satélites tienen un haz de borde definido, al cual se refiere los valores de PIRE, G/T y densidad de flujo. En el análisis del enlace se pueden aplicar factores de ajuste para tener en cuenta la ubicación de una estación terrena dentro del haz del satélite. Dichos factores conocidos como factores Beta, corrección del ángulo de mira o ventaja del diagrama de radiación, se aplican a todos los haces de satélite, a excepción de los globales.

El factor Beta se define como la diferencia entre la ganancia en el borde del haz del satélite y la ganancia en dirección de una estación terrena. Para cada estación se deben tener en cuenta los factores Beta tanto del enlace ascendente (β_{up}) como del descendente (β_{down}), porque la cobertura del enlace ascendente difiere de la del haz descendente incluso para una misma estación (y aun mismo para el mismo haz).

6.7.8 TEMPERATURA DE RUIDO DEL SISTEMA

La temperatura de ruido del sistema de una estación terrena es la sumatoria de las temperaturas de ruido del receptor y de la antena (incluidos el alimentador y los guía ondas), y del ruido celeste captado por la antena.

$$T_{\text{SYSTEM}} = T_{\text{ANT}}/L + (1-1/L)T_0 + T_e \quad (6.14)$$

Donde:

L = Perdidas del alimentador en valor numérico

T_e = Temperatura de ruido equivalente del receptor

T₀ = Temperatura normal de 290 ° K

T_{ANT} = Temperatura de ruido equivalente de la antena según las indicaciones del fabricante

$$L = L_{\text{VSWR}} = \frac{2 + \text{VSWR} + (1/\text{VSWR})}{4} \quad (6.15)$$

$$L_{\text{VSWR}}(\text{dB}) = 10 \log L_{\text{VSWR}} \quad (6.16)$$

6.7.9 TEMPERATURA DE RUIDO DE LAS ANTENAS

La potencia del ruido que ingresa en el receptor (en este caso, el LNA) desde la antena equivale al producido por un resistor adaptado ubicado en la entrada del LNA con una temperatura física igual a T_{ant}.

La temperatura de ruido de la antena es una función compleja que depende del diagrama de ganancia de la misma, el ruido de fondo, la temperatura del

cielo, la temperatura de ruido atmosférico equivalente y la temperatura de ruido del sol. Generalmente, el valor mínimo al cenit; para una antena con pocas pérdidas (lóbulos laterales pequeños), ese valor oscila entre 15°K y 20°K, y aumenta abruptamente para ángulos de elevación inferiores a 10°.

6.7.10 FACTOR DE CALIDAD (G/T)

En todo sistema de transmisión, el ruido es el factor que más afecta a la calidad de todo el enlace; la expresión matemática G/T dBK se conoce como la medida de la bondad de un sistema de recepción. INTELSAT exige un valor de G/T específico para todos los tipos de estaciones terrenas que figuran en los módulos IESS, lo que significa que si la estación terrena en cuestión cumple con la especificación G/T correspondiente, INTELSAT le suministrará suficiente potencia desde el satélite para satisfacer las características de todos los servicios.

La relación G/T se expresa en dB con respecto a 1°K. Se debe usar el mismo punto de referencia del sistema, por ejemplo, la entrada del receptor, tanto para la ganancia como para la temperatura de ruido.

$$G/T = G_{TX} - 10\log T_{sys} \quad (6.17)$$

Donde:

G_{TX} = Ganancia de recepción en dB

T_{sys} = Temperatura de ruido del sistema en °K

Dado que la ganancia de la antena depende de la frecuencia, el factor G/T se debe normalizar a una frecuencia conocida (generalmente, 4 u 11 GHz), restando de la ecuación 6.17 la expresión $20\log f/f_0$ (siendo f_0 igual a 4 u 11), en la cual f indica la frecuencia en GHz.

6.7.11 RELACION PORTADORA RUIDO (logaritmo)

En la ecuación del enlace, aplicando el logaritmo al producto KTB, se obtiene:

$$C/N = PIRE - L + G - 10 \log K - 10 \log T - 10 \log B \quad (6.18)$$

La diferencia $G - 10 \log T$, es el factor de calidad:

$$C/N = PIRE - L + G/T - 10 \log K - 10 \log B \quad (6.19)$$

Donde:

L = Pérdidas de transmisión

G/T = factor de calidad del receptor

K = constante de Boltzman

B = Ancho de banda ocupado por la portadora

Como el ancho de banda del receptor (B) suele depender del tipo de modulación, se pueden aislar los parámetros de potencia del enlace, normalizando la dependencia del ancho de banda. La nueva relación se conoce con el nombre de relación de portadora a densidad de ruido (C/No).

$$C/No = PIRE - L + G/T - 10\log K \quad (6.20)$$

Es preciso tener en cuenta que:

$$C/N = C/T - 10\log k B \quad (6.21)$$

Expresando la relación C/T en función de la relación C/N, y reemplazamos C/N por el miembro derecho de la ecuación del enlace, se obtiene:

$$C/T = PIRE - L + G/T \quad (6.22)$$

La relación C/T es características de cada tamaño y tipo de portadora e indica indirectamente el nivel de potencia de la portadora necesario para una G/T dada.

La relación C/No nos permite calcular directamente la relación de energía binaria a densidad de ruido del receptor:

$$Eb/No = C/No - 10\log(\text{velocidad digital}) \quad (6.23)$$

6.7.12 IMPACTO DE LA G/T EN LA RENTABILIDAD DEL SERVICIO

La interpretación de la ecuación 6.22 es que una C/T dada requerida por un cierto tipo de portadora y de calidad de servicio puede obtenerse para diferentes combinaciones de p.i.r.e y G/T. La p.i.r.e representa el uso de los recursos y a la larga se ve reflejada en los gastos de operación, porque una p.i.r.e de satélite mas elevada significa mayores costos de operación. Por otra parte, la G/T representa el gasto de capital, porque cuanto mas elevada es la G/T mas grande es la antena y/o mejor es el LNA, lo que repercute en el costo de los equipos.

Si se desea usar a largo plazo una instalación de estación terrena, puede resultar mas económico construir una antena mas grande que necesitara una

p.i.r.e. de enlace descendente inferior, en vez de una antena mas pequeña que necesitara una p.i.r.e. mas elevada para la misma calidad de servicio.

6.7.13 PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DEL TRANSPONDER

Además de la anchura de banda, los parámetros de un transpondedor son los siguientes:

Densidad de flujo de saturación (dBW/m²):SFD

G/T de recepción (dB/°K)

PIRE de saturación (dBW)

La densidad de flujo de saturación SFD es la densidad total del flujo de potencia que llega al satélite desde el segmento terrestre, y que produce una PIRE de saturación proveniente del satélite. Para nuestro caso INTELSAT VIII-A (805) procedemos a consultar del modulo IESS 410.

La densidad de flujo de operación OFD es la densidad total del flujo de potencia que llega al satélite desde el segmento terrestre, y que produce una PIRE disponible en el satélite para un ancho de banda dado de una fracción de transpondedor con la condiciones de reducción de potencia total de entrada del transpondedor.

Dado que el amplificador de potencia de salida no es un dispositivo lineal, debe funcionar por debajo del punto de saturación a fin de evitar las distorsiones no lineales.

Por lo tanto, para lograr ese punto se debe recurrirse a la reducción de la potencia de entrada y salida (IBO y OBO respectivamente)

La reducción de potencia total del transpondedor de entrada (IBO) se define como la relación entre la densidad del flujo de saturación (SFD) y la densidad de flujo de operación de una portadora (OFD).

La reducción de potencia total del transpondedor de salida (OBO) se define como la relación entre PIRE de saturación y la PIRE de funcionamiento de una portadora.

Del modulo de IESS 410 para INTELSAT VIII-A (805) se tiene una IBO total de -8.2 dB y una OBO total de -3.0 dB.

Los recursos de PIRE para alquiler de fracciones de transpondedor se calculan para que sean proporcionales al ancho de banda asignado.

Recurso de PIRE = PIRE de saturación – reducción total de la potencia de salida del transpondedor – $10 \log (AB \text{ del transpondedor} / AB \text{ asignado})$, donde AB = Ancho de Banda. (6.24).

Para nuestro proyecto utilizaremos el transpondedor de 36 MHz con un ancho de banda asignado de 4.9 MHz.

$$PIRE_{(down)} [dBW] = PIRE_{(saturación)} - OBO - 10 \log (AB \text{ transpon.} / AB \text{ asignado}) \quad (6.24)$$

Los recursos de la densidad de flujo de operación para alquiler de fracciones de transpondedor se calculan para que sean proporcionales al ancho de banda asignado.

Recurso de densidad de flujo (OFD) = densidad de flujo de saturación (SFD) – reducción total de la potencia de entrada del transpondedor – $10 \log (AB \text{ del transpondedor} / AB \text{ asignado})$, donde AB = Ancho de Banda. (6.25).

$$OFD_{(down)} [dBW/m^2] = SFD_{(saturación)} - IBO - 10 \log (AB \text{ transpon.} / AB \text{ asignado}) \quad (6.25)$$

Cabe destacar que INTELSAT proporciona IBO (Backoff entrada) de -15.1 dB por portadora y un OBO (Backoff salida) de -13.3 dB por portadora.

Conexión del Haz Enl. asc./desc.	Satélite	Ancho Banda (MHz)	PIRE Saturación (dBW)	Densidad de Flujo de Saturación (dBW/m ² - 2dB)			G/T (dB/°K)
				Muy Alta	Alta	Baja	
Hemi / Hemi	VIII -A	36	37.5	-89	a	-70	-8
Hemi / Hemi	VIII -A	72	37.5	-89	a	-70	-8

Tabla 6.4 PARAMETROS DEL SATELITE INTELSAT VIII-A (805)

CONEXIÓN DEL HAZ DE ENLACE ASCENDENTE / DESCENDENTE	FRECUENCIA DE ENLACE ASC/DESC			
	6/4 GHz	6/12 GHz	14/12 GHz	14/4 GHz
Hemisférica / Hemisférica	X			
Píncel / Hemisférica				X
Píncel / Píncel			X	
Hemisférica / Píncel		X		

Tabla 6.5 DEFINICION DE TRANSPONEDORES ALQUILER PARA INTELSAT VIII-A

6.7.14 RUIDO TERMICO EN EL ENLACE ASCENDENTE

El ruido térmico en el enlace ascendente procede del ruido inherente al sistema de recepción del satélite.

Al calcular la C/T en el enlace ascendente, se debe incluir un margen para los errores de apuntamiento de la antena y la atenuación por lluvia. Por lo

general, se asigna de 0.5 a 1.0 dB para los errores de apuntamiento. En la banda C es normal no tener en cuenta la atenuación por lluvia excepto en regiones con tasas de pluviosidad muy elevadas. En la banda Ku, los márgenes de 2.0 a 4.0 dB son normales. INTELSAT puede ayudar a seleccionar los márgenes apropiados de atenuación por lluvia.

El ruido térmico en el enlace ascendente se calcula mediante la siguiente fórmula

$$C / T_{UP} = PIRE_{UP} - L_{UP} + G/T_{SAT} + \beta_{UP} - m_{UP} \quad (6.26)$$

Donde:

$PIRE_{UP}$ = PIRE del enlace ascendente

L_{UP} = Perdidas de trayecto

β_{UP} = Ventaja del diagrama del enlace ascendente

m_{UP} = margen para lluvia y error de apuntamiento, etc

6.7.15 PRODUCTOS DE INTERMODULACION DE LOS HPA DE LAS ESTACIONES TERRENAS

Los HPA de banda ancha utilizados para cursar múltiples portadoras pueden generar productos de Intermodulación en la banda de frecuencias de todo el satélite (500 MHz).

Por tanto, incluso si el usuario prevé usar tan solo una portadora por HPA, sigue existiendo el riesgo de interferencias por productos de Intermodulación generados por otras estaciones que cursen múltiples portadoras en el mismo haz en enlace ascendente.

La relación C / T_{HPAIM} se calcula a partir de los límites de Intermodulación de los HPA consignados módulos del IESS 601

$$C / T_{HPAIM} = PIRE - A + K1 - 192.6 \text{ dBW/}^\circ\text{K} \quad (6.27)$$

Donde:

A = límite de Intermodulación de los HPA a un ángulo de elevación de 10° (tabla 6.6)

K1 = factor de corrección para el ángulo de elevación y el emplazamiento de la estación terrena.

$$K1 = 0.02(\alpha_U - 10) + \beta_U + K[0.02(\alpha_D - 10) + \beta_D] \quad (6.28)$$

Donde:

α_U = ángulo de elevación de la estación terrena trasmisora

β_U = diferencia en (dB) entre la ganancia de cobertura en el borde del haz de recepción del satélite y la ganancia en la dirección de la estación terrena trasmisora para nuestro caso es de 2.3 dB

K = fracción del factor en enlace descendente que se debe usar para el ajuste de factor total, $K = 0.4$ para todo tipo de portadora.

α_D = ángulo de elevación para el emplazamiento de estación terrena receptora mas desfavorable.

β_D = diferencia en (dB) entre la ganancia de cobertura en el borde del haz de transmisión del satélite y la ganancia en la dirección de la estación terrena receptora situada en la ubicación mas desfavorable para nuestro caso -0.8 dB.

Enlace Ascendente	Densidad Pire (dBW/4 kHz)	Satélites
Global	14	Todos
Pincel C	14	Todos
Zona	14	Todos
Hemi	16	Todos
Pincel Ku	13	Todos

Tabla 6.6 DENSIDAD PIRE TOTAL DEL RUIDO DE SALIDA DEL HPA DE ESTACION TERRENA Y DE LOS PRODUCTOS DE INTERMODULACION

6.7.16 INTERFERENCIA COCANAL

Este tipo de interferencia se debe a las portadoras cursadas en el mismo satélite, en la misma frecuencia, pero en diferentes haces ascendentes y descendentes (reutilización de frecuencias), que se separan espacialmente o bien mediante el uso de polarización opuesta.

En la tabla 6.7 se presentan los datos sobre interferencia cocanal para el INTELSAT VIII-A. Este valor se da en dB como relación portadora a interferencia (C/I). Por tanto, para convertirla a C/T, se debe usar la ecuación siguiente:

$$C/T \text{ cci [dBw/°K]} = C/I \text{ (X en tabla 6.7)} + 10\log [B_{\text{occ}}] - 228.6 \quad (6.29)$$

Donde:

[B_{occ}] = Ancho de banda ocupado por la portadora.

CONEXION DE HACES		VALOR X EN dB
Enl.asc.	Enl.desc	INTELSAT VIII-A
Hemi	Hemi	21

Tabla 6.7 VALOR DE X CALCULO DE INTERFERENCIA COCANAL

6.7.17 INTERMODULACION DE TRANSPONDEDOR

La Intermodulación de transpondedor se especifica como un límite de densidad de PIRE transmitida por el transpondedor en un ancho de banda de 4 kHz en el borde del haz.

$$C/T_{\text{satim}} = \text{PIRE}_{\text{down}} - \text{SAT}_{\text{im}} + \beta_{\text{down}} - 192.6(\text{dBW}/^\circ\text{K}) \quad (6.30)$$

Donde:

$\text{PIRE}_{\text{down}}$ = PIRE del enlace descendente

SAT_{im} = límite de Intermodulación especificado en 4 kHz (tabla 6.8)

β_{down} = diagrama de radiación en enlace descendente

Enlace Ascendente	Transp. De enlace descendente afectado por productos de Intermodulación	Frecuencia Asc. / Desc. del transpondedor	Satélite	Límite al borde del haz del haz (dBW/4kHz)
Cualquiera	Hemisférica	6-4 GHz ; 14-4 GHz	VIII-A	21

Tabla 6.8 LÍMITES DE DENSIDAD DE PIRE DE INTERMODULACION DEL TRANSPONDEDOR

6.7.18 RUIDO TERMICO EN ENLACE DESCENDENTE

El ruido térmico en el enlace descendente es el ruido causado por el sistema de recepción de la estación terrena. Al igual que en el ruido térmico del enlace ascendente, se debe tener en cuenta un margen para la atenuación por lluvia y los errores de seguimiento.

$$C/T_{\text{down}} = \text{PIRE}_{\text{down}} - L_{\text{down}} + G/T_{\text{E/S}} - m_{\text{up}} \quad (6.31)$$

Donde:

$\text{PIRE}_{\text{down}}$ = PIRE del enlace descendente

L_{down} = pérdida de trayecto del enlace descendente

$G/T_{\text{E/S}}$ = factor de calidad de la estación terrena

m_{up} = margen en enlace descendente para lluvia y errores de seguimiento.

6.7.19 POLARIZACION

Los satélites de INTELSAT VIII-A (805) suministran cobertura en polarización dobles traslapando las coberturas de los dos haces hemisféricos (Hemi A y Hemi B) cada una de las cuales funciona en un sentido de polarización lineal diferente.

Se requiere que el alimentador de la estación terrena pueda adaptarse al ángulo de polarización del satélite con un margen de 1^a grado en condiciones de cielo despejado.

$$\theta_{pol} = \arctan \left[\frac{\text{sen} \Delta w}{\tan \varphi} \right] \quad (6.32)$$

Donde:

Δw = diferencia de longitud entre la estación terrena y el satélite

φ = latitud de la estación terrena, referida al hemisferio norte.

COBERTURA	TRANSMISION ESTACION TERRENA	RECEPCION ESTACION TERRENA
Hemi A	HPOL	VPOL
Hemi B	VPOL	HPOL

Tabla 6.9 REQUISITOS DE POLARIZACION PARA ESTACIONES TERRENAS QUE OPERAN CON INTELSAT VII-A BANDA C

VPOL = Polarización Lineal Vertical

HPOL = Polarización Lineal Horizontal

Las coberturas de los haces Hemi A y Hemi B en el INTELSAT VIII-A coinciden.

6.7.20 RELACION PORTADORA A TEMPERATURA DE RUIDO DEL SISTEMA PARA TODO EL ENLACE

El valor de la relación C/T total para todo el enlace se obtiene de las relaciones precedentes, mediante la siguiente ecuación:

$$[C/T(total)]^{-1} = [C/T(up)]^{-1} + [C/T(down)]^{-1} + [C/T(hpa - im)]^{-1} + [C/T(sat - im)]^{-1} + [C/Tco]^{-1}$$

(6.33)

Nótese que las relaciones C/T en este formula están en valores numéricos, por lo que la relación C/T total debe convertirse a una relación logarítmica.

6.8 ESTACIONES TERRENAS

Una estación terrena satelital es un conjunto de equipo de comunicaciones y de cómputo que puede ser terrestre (fijo y móvil), marítimo o aeronáutico. Las estaciones terrenas pueden ser usadas en forma general para transmitir y recibir del satélite. Pero en aplicaciones especiales solo pueden recibir o solo pueden transmitir.

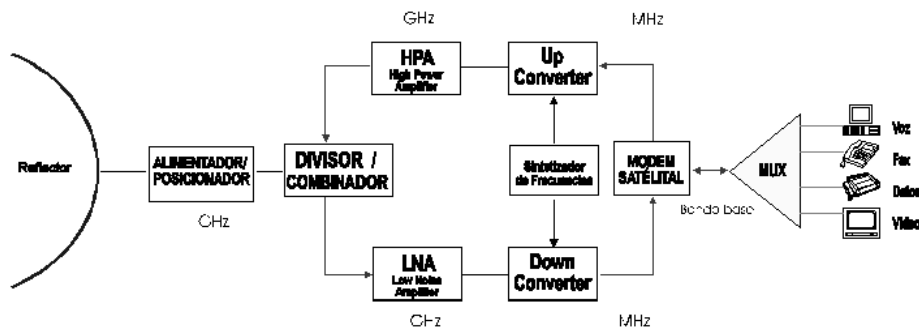


Figura 6.6 DIAGRAMA DE UNA ESTACION TERRENA TRANSMISORA / RECEPTORA

6.9 ANTENAS TERRESTRES

Existen muchos tipos de antenas terrestres para comunicación con satélites. Estas dependen del tipo de estación terrena, la cual comprende desde los centros internacionales de tráfico alto (antenas grandes de hasta 32 metros), pasando por los receptores domésticos de Televisión (antenas de entre 3 y

0.5 metros), hasta pequeños terminales de comunicación de datos (antenas de hasta 0.6 metros).

6.9.1 ARQUITECTURA DE ANTENAS.

Una antena con un alimentador en el centro de la parábola (asimétrica) representa una configuración simple de antena que es potencialmente capaz de satisfacer con las especificaciones para aplicaciones en estaciones terrenas, la mayor ventaja de esta antena es que mecánicamente es relativamente simple, razonablemente compacta, y generalmente poco costosa.

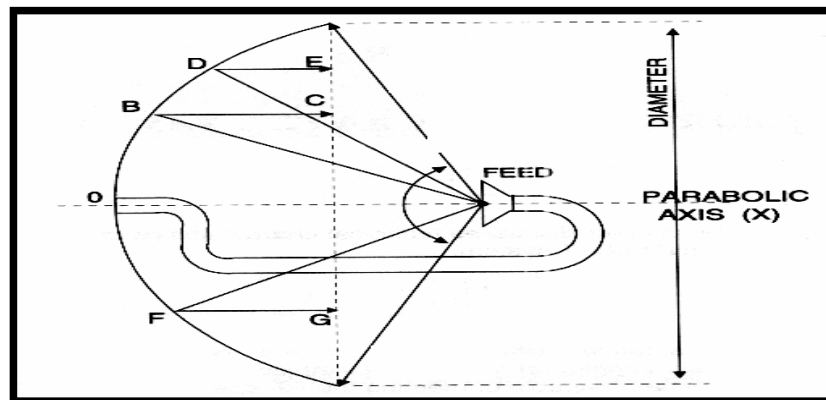


Figura 6.7 ANTENA BASICA

6.9.2 TIPOS DE ANTENAS

6.9.2.1 FOCO PRIMARIO

La característica básica radica donde esta el foco se coloca el alimentador (expulsa la señal RF al espacio con la ganancia).

La única desventaja el amplificador de bajo ruido LNA esta expuesto al clima a las altas temperaturas, la calidad de la señal depende de los materiales con los cuales esta fabricada la antena (fibra de vidrio, metal, plástico).

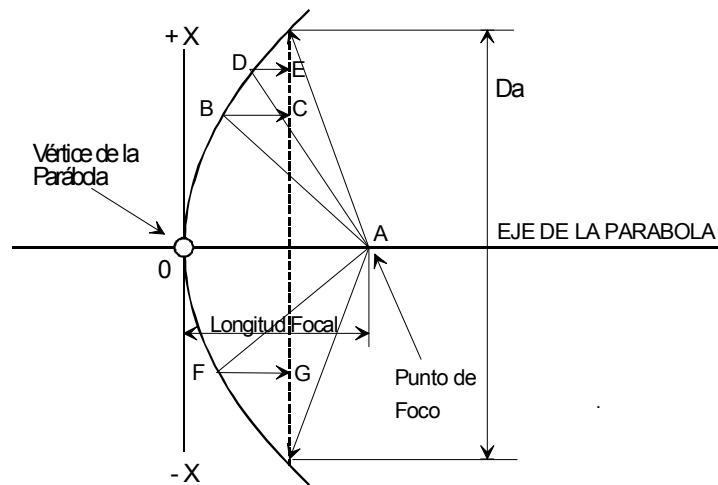


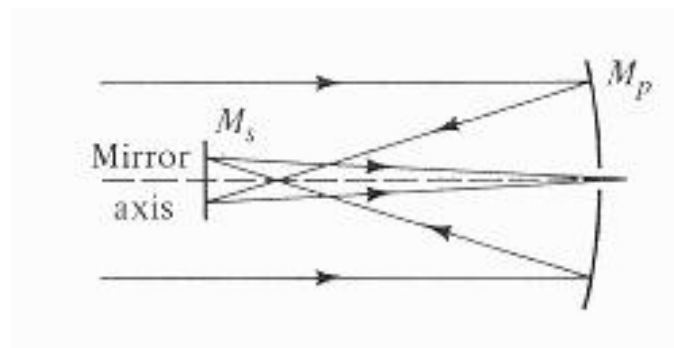
Figura 6.8 ANTENA FOCO PRIMARIO

6.9.2.2 GREGORIANA

Presenta un subreflector cóncavo, tiene su sistema protegido.

Sumamente costosa ideal para telepuerto.

1. Libre de aberración esférica
2. Más largo que el Cassegrain
3. Permite la colocación del detector detrás del sistema óptico
4. Menos común que el Cassegrain



M_p =espejo parabólico

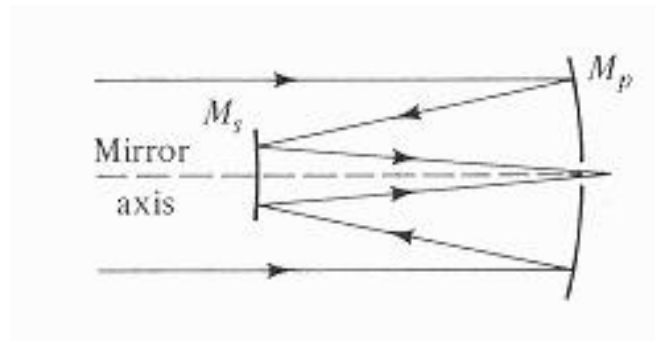
M_s =espejo elipsoidal

Figura 6.9 ANTENA GREGORIANA

6.9.2.3 CASSEGRAIN

Antena con subreflector convexo, esta protegido el LNA y le feed.

1. Libre de aberración esférica
2. Más corto que el Gregoriano
3. Permite colocar el detector detrás del sistema óptico
4. Bastante usado



M_p =espejo parabólico

M_s =espejo hiperbólico

Figura 6.10 ANTENA CASSEGRAIN

6.9.3 PARAMETROS DE DISEÑO DE UNA ANTENA

Los parámetros en el diseño una antena son la ganancia el ancho del haz, y lo que se conoce como SIDELOBES llamado también lóbulos laterales.

6.9.3.1 GANANCIA DE UNA ANTENA

La ganancia de la antena se la definiría de la siguiente manera :

Cuando una onda de radio llega desde una fuente distante choca en la antena, esta recoge la potencia contenida en esta apertura efectiva A_e . Si la antena fuera perfecta el área efectiva A_e al área A proyectada. Para una apertura circular la apertura proyectada es:

$$A = \pi d^2 / 4 \quad (6.34)$$

Y el área efectiva $A_e = A$ (para una antena ideal)

Donde d = diámetro de la antena.

Tomando en consideración las pérdidas y la no-uniformidad de las leyes de la iluminación de la apertura, el área efectiva es en la práctica:

$$A_e = \eta A$$

$$A_e = \eta \pi (d/2)^2 \quad (6.35)$$

Donde η es la eficiencia de la antena y $\eta < 1$.

La eficiencia es un factor importante en el diseño de las antenas, tal es así que técnicas especiales son usadas para optimizar la eficiencia de las antenas de estaciones terrenas.

La eficiencia de las antenas se ve afectada por:

- El subreflector y la estructura de soporte
- La desviación de la superficie del reflector principal
- La eficiencia de la iluminación la cual es tomada en cuenta para la no-uniformidad de la misma, la distribución de fase a través de la superficie de la antena, y la potencia radiada en los lóbulos laterales
- La potencia que es radiada en los lóbulos laterales

La eficiencia de la apertura se encuentra típicamente entre 55 y 75 por ciento. Entonces la ganancia en el eje de la antena (relativo a un radiador isotópico) esta dada por:

$$G = 4\pi A_e/\lambda^2 \quad (6.36)$$

Donde:

λ es la longitud de onda en el espacio libre

A_e = apertura efectiva de la antena.

Sustituyendo por A_e en la ganancia G tenemos:

$$G = \eta (\pi d/\lambda)^2$$

O expresada en decibelios:

$$G_{\text{dbi}} = 10 \log \eta + 20 \log \pi + 20 \log d - 20 \log$$
$$G_{\text{dbi}} = 10 \log \eta + 20 \log f + 20 \log d + 20,4 \text{ dB} \quad (6.37)$$

Donde:

η : es la eficiencia de la antena.

d : diámetro de la antena en m

f : frecuencia de operación en Ghz

20,4 dB =Constante resultado de $10 \log (1E9 * \pi/c)$

6.9.3.2 ANCHO DEL HAZ

El ancho del haz es una medida del ángulo sobre el cual la mayoría de la ganancia ocurre, es típicamente definido con respecto a la potencia media del ancho del haz (HPBW) o en el punto ubicado – 3 dB abajo del lóbulo principal en el patrón de radiación de la antena como se aprecia en la figura, y está dado por:

$$\text{HPBW} = \frac{\lambda}{d \sqrt{\eta}} \times 57,29$$

(6.38)

Donde:

η : eficiencia de la antena

d : diámetro de la antena en m

λ : longitud de onda, c / f

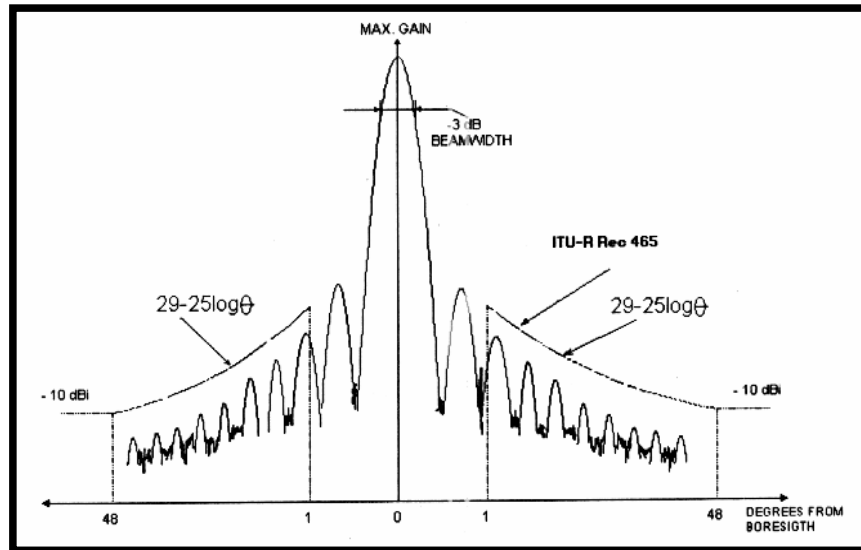


Figura 6.11 ANCHO DE BANDA Y DIAGRAMA DE LA RADIACION DE UNA ANTENA

6.9.3.3 LOBULOS LATERALES

Mientras la mayoría de la potencia radiada esta contenida en el lóbulo principal una cierta cantidad de potencia puede ser transmitida o recibida en direcciones fuera de este eje. Así se puede decir que sidelobes es un parámetro intrínseco de la radiación de la antena y no puede ser eliminado totalmente.

De cualquier forma este también es debido a defectos en las antenas que pueden ser minimizados con un diseño apropiado. El ITU-R Record 580-1,

modulo 1 define los sidelobes deseados para diferentes tipos de antenas, estos son:

1. -Para antenas instaladas después de 1988, con una relación $d/\lambda > 150$ debe satisfacer las siguientes características:

$$G = 29 - 25 \log \theta \text{ dBi} \quad (6.39a)$$

Donde $1^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$

d = es el diámetro de la antena m

λ = Es la longitud de onda en m para la frecuencia de operación.

2. -Para antenas más pequeñas con d/λ entre 35 y 100 (1,75m a 5m para banda C y 75 cm a 2,1 m para banda Ku)

$$G = 52 - 10 \log d/\lambda - 25 \log \theta \quad (6.39b)$$

Donde $(100 \lambda/d)^\circ \leq \theta \leq d/5\lambda^\circ$

El diámetro, la frecuencia de operación, y la eficiencia de apertura afectan los parámetros de las antenas; pero la característica sidelobe es uno de los

factores principales en determinar el espaciamiento mínimo entre los satélites, y por consiguiente la órbita y la eficiencia del espectro.

6.9.3.4 ANCHO DE BANDA

Las antenas de disco tienen un ancho de banda. Como se puede ver de la ecuación de ganancia para un diámetro dado, la ganancia de una antena incrementara con el incremento de la frecuencia de operación. De cualquier forma si la antena fuera de la frecuencia de operación para la cual ha sido diseñada se obtendrá una eficiencia deteriorada de la misma.

6.9.4 MONTAJE DE ANTENAS

Una antena en una estación terrena típicamente requiere una estructura rígida de acero acompañado con una superficie de disco preciso, esta estructura también debe ser capaz de resistir condiciones extremas de clima como el calor excesivo, el frío y los huracanes.

Existen tres tipos de montajes para antenas comunes y son:

- Montaje X – Y
- Montaje AZ/EL
- Montaje polar

6.9.4.1 MONTAJE X-Y

Este montaje es usado para antenas de mediano tamaño (aproximadamente entre 10 – 13 mt) en este montaje el eje X es el más bajo y es paralelo a la tierra, la rotación en torno a este eje mueve la antena para su inclinación. El eje Y está localizado en un plano vertical y es perpendicular al eje X, la posición de este eje depende de la rotación del eje X. Este es el tipo de montaje más simple, pero es un montaje de cobertura limitada, provee una cobertura arriba de los 90° en el eje X, pero en algunos casos solos ± 5 grados en el eje Y.

6.9.4.2 MONTAJE AZ/EL

La localización en un punto en la tierra puede ser descrita usando un sistema coordinado azimuth – elevación. El azimuth está definido como un ángulo producido por la rotación en torno a un eje el cual es perpendicular al plano horizontal, el eje de elevación rota en el plano horizontal local. Un cambio en el ángulo de elevación causará la rotación de la antena en el plano vertical. La instalación de un montaje AZ/EL es relativamente fácil este tipo de montaje tiene una cobertura de elevación total y ± 180 en el azimuth.

6.9.4.3 MONTAJE POLAR

Un montaje polar tiene dos ejes de rotación, el primero se lo conoce como el eje del ángulo horario el cual es paralelo al eje de la tierra, este esta inclinado en la dirección norte – sur, pero de todos modos este ángulo es paralelo a la tierra, al ecuador, y es perpendicular a la tierra en los polos norte y sur.

El segundo ángulo es el ángulo de declinación, la distancia al satélite, la distancia a la estación terrena y la latitud determinan el levantamiento del ángulo de inclinación requerido.

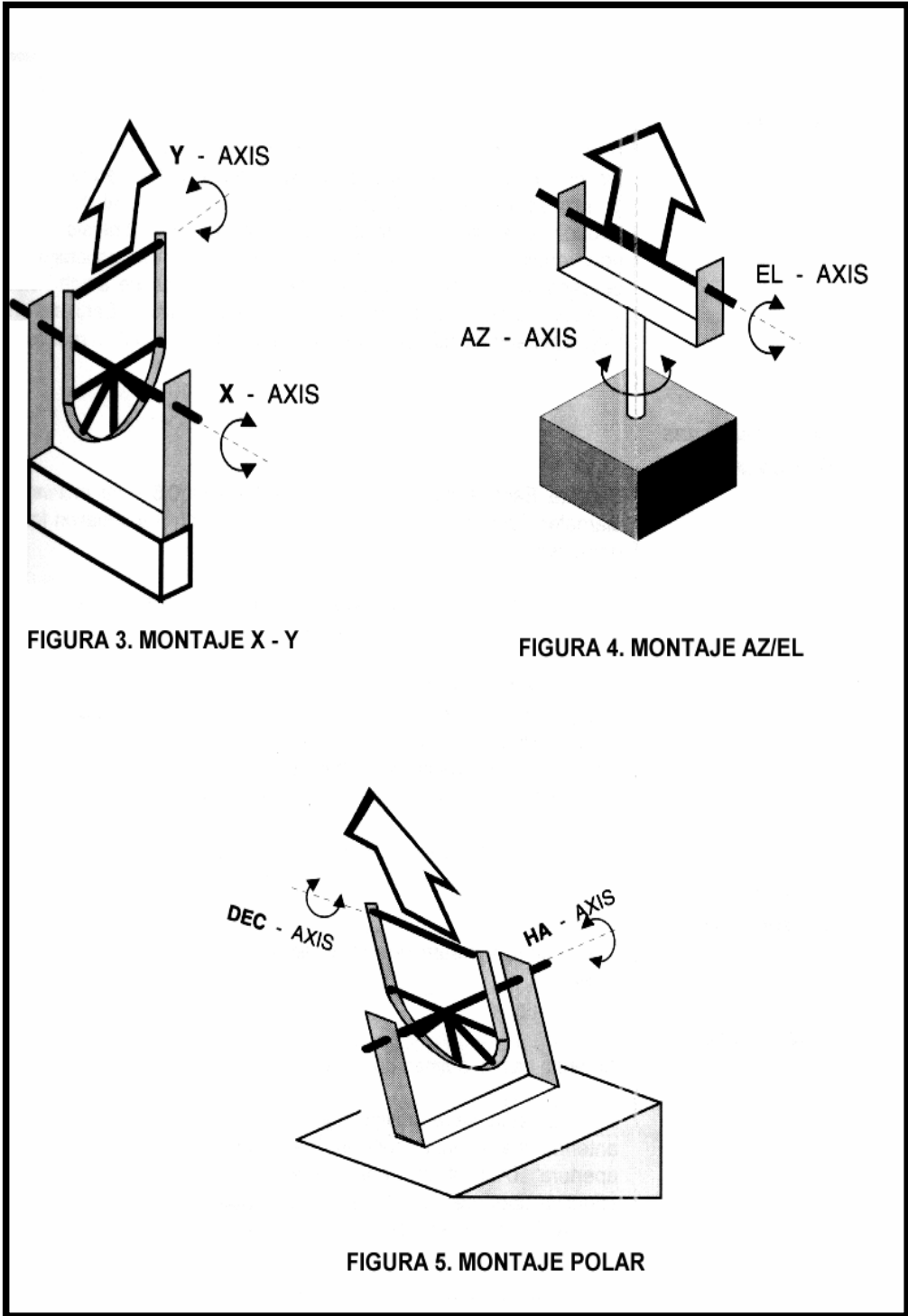


Figura 6.12 MONTAJE DE ANTENAS

6.9.5 ESTANDARES DE LAS ANTENAS

Desde 1965 varios estándares de antenas han sido aprobados para uso con el sistema de INTELSAT, estos estándares se encuentran clasificados mediante los siguientes parámetros básicos.

1. Diámetro de la antena
2. Frecuencia de operación en el espectro de RF
3. Figura de mérito (ganancia / temperatura de ruido del sistema)
4. Modo de operación

NORMA	BANDA FRECUENCIAS	G/T (dB/°K)	DIAMETRO (M)	SERVICIOS	DOCUMENTO INTELSAT
A	6/4 GHz	35	15.0-18.0	TODOS	IESS 207
B	6/4 GHz	31.7	10.0-13.0	TODOS	IESS 207
C	14/11 ; 14/12 GHz	37	11.0-13.0	IDR/IBS	IESS 208
E1	14/11 ; 14/12 GHz	25	2.4-3.5	IBS	IESS 208
E2	14/11 ; 14/12 GHz	29	3.7-4.5	IDR	
E3	14/11 ; 14/12 GHz	34	8.0-10.0	IBS,IDR	
F1	6/4 GHz	22.7	4.5-5.0	IBS	IESS 207
F2	6/4 GHz	27	7.8-8.0	IBS,IDR	
F3	6/4 GHz	29	9.0-10.0	IBS,IDR	
H2	6/4 GHz	15.1	1.5 A 1.8	DAMA	IESS 207
H3	6/4 GHz	18.3	2.4 A 2.7	DAMA	IESS 207
H4	6/4 GHz	22.1	3.5 A 4.2	DAMA	IESS 207
K2	14/11 ; 14/12 GHz	19.8	1.2	IBS, VSAT	IESS 208
K3	14/11 ; 14/12 GHz	23.3	1.8	IBS, VSAT	IESS 208
G	6/4 GHz 14/11 ; 14/12 GHz		TODOS TAMAÑOS	SERVICIO ALQUILER	IESS 601

Tabla 6.10 ESTANDAR DE ESTACIONES TERRENAS NORMALIZADAS POR INTELSAT

6.9.5.1 ESTANDAR A

Este es comúnmente conocido como de *disco largo* en estaciones terrenas y ha estado en uso desde 1965 (INTELSAT I – EARLY BIRD). En años recientes las especificaciones de este estándar han sido revisadas para obtener ventajas de las potencias más altas de la nueva generación de satélites.

A continuación presentamos algunas conclusiones producto de la revisión efectuada:

1. El diámetro del disco para el estándar A fue de aproximadamente 30 m, pero las especificaciones revisadas dicen entre 13 – 20 m}
2. Opera en la banda de 6/4 Ghz, pero puede ser retroalimentada en algunos casos para operar en la banda 11/14 Ghz.
3. Para el antiguo estándar A la figura de mérito fue 40,7 dB/°K de acuerdo a la revisión es 35 dB/°K.

Este estándar puede ser usado para todos los servicios.

6.9.5.2 ESTANDAR B

Este tipo de estación terrenas fue inicialmente introducido como una alternativa más económica al estándar A para uso en sistemas *thin Route* con requerimientos de poca capacidad de tráfico.

6.9.5.3 ESTANDAR C

Con la venida de los satélites INTELSAT V los cuales operan en banda Ku y banda C este estándar fue introducido. En años recientes esta especificación también ha sido mejorada.

Estas estaciones pueden ser equipadas para operar en algunos de los servicios utilizables en banda Ku. Ellas pueden operar con cualquier otra estación utilizando la banda Ku y con estaciones en banda C vía cross – connected.

6.9.5.4 ESTANDAR D

Este estándar esta discontinuado.

6.9.5.4 ESTANDAR E

Este estándar fue introducido inicialmente para ser usado en los INTELSAT BUSINESS SERVICE (IBS) operando en banda Ku los dos discos más grandes en este estándar los dos discos más largos en este estándar están autorizados para uso en los servicios de velocidades de datos intermedia IDR.

La elección de la estación depende de los requerimientos del usuario.

6.9.5.5 ESTANDAR F

Como con el estándar E, este estándar fue inicialmente diseñado para uso con IBS, pero ha sido autorizado para uso con IDR (excepto para F1).

6.9.5.6 ESTANDAR G

Este estándar fue introducido para las portadoras internacionales con estaciones terrenas no conformes con los estándares arriba mencionados.

Estas estaciones pueden operar en banda C o en banda Ku.

No hay un tamaño específico de la antena, figura de mérito, y tipo de modulación, pero ellos deben elegir estos parámetros conforme a requerimientos tales como la ganancia, sidelobe, etc.

6.9.5.7 ESTANDAR H

Este estándar ha sido introducido para proveer el servicio INTELSAT DAMA en la banda 6/4 GHz.

6.9.5.8 ESTANDAR K

Este estándar es demandado por el INTELSAT VSAT Busines Service operando en la banda de 14/11 GHz y 14/12 GHz.

6.10 DISTANCIA AL SATELITE

La distancia entre la estación terrena y el satélite geoestacionario se la puede calcular de la siguiente manera:

$$D^2 = R^2 + R_o^2 - 2RR_o \cos \alpha \quad (6.40)$$

Donde :

d : distancia de la E/S al satélite

R : distancia del satélite al centro de la tierra = 42.164 Km.

Ro : radio de la tierra = 6.378 Km.

$\alpha = \arccos(\cos \Delta w \cos \varphi)$

φ =latitud de la estación terrena

Δw = diferencia en longitud entre E/S y el satélite

6.11 ANGULO DE ELEVACIÓN

Se define de la siguiente ecuación:

$$EL = \arctan \left[\frac{\arctan \cos \alpha - 0,15127}{\text{Sen } \alpha} \right]$$

(6.41)

6.12 ANGULO DE AZIMUTH

El ángulo de azimuth depende de la posición relativa de la estación terrena al ecuador y al satélite, y esta definido en la siguiente ecuación:

$$AZ = \arctan \left[- \frac{\tan \Delta W}{\text{sen } \alpha} \right] + 180 \quad \text{Para hemisferio norte} \quad (6.42)$$

$$AZ = \arctan \left[- \frac{\tan \Delta W}{\text{sen } \alpha} \right] \quad \text{Para hemisferio sur} \quad (6.43)$$

6.13 AMPLIFICADORES DE POTENCIA (HPA, High Power Amplifier)

Al Amplificador de Alta Potencia [HPA] también se le conoce como Transmisor o Transceptor [Transceiver] ya que está en la parte Transmisora.

La función básica de un amplificador de potencia en una estación terrena es de amplificar los bajos niveles de RF provistos por el transmisor a un nivel de potencia elevado que asegure que una correcta EIRP por portadores es radiada al satélite.

6.14 CLASES DE AMPLIFICADORES DE POTENCIA

Existen varias versiones de amplificadores de potencia HPAs, dependiendo de la potencia radiada y de otros factores. Los hay de estado sólido, los SSPA (Solid State Power Amplifier) o SSHPA, los hay analógicos de Tubos

de Vacío, los TWTs (Travelling Wave Tube), los KPA (Klystron Power Amplifiers) . Los SSPAs generalmente se usan para potencias bajas, los TWTs y los Klystron se utilizan para potencias muy altas.

6.14.1 AMPLIFICADORES DE POTENCIA KLYSTRON

Los electrones emitidos por la pistola de electrones (electrón gun) pasa a través de las aberturas de la cavidad en cada uno de los resonadores y a través de tubos metálicos cilíndricos (llamados “drift tubes”) localizado entre las aberturas de las cavidades como se puede observar en al grafico. En un amplificador Klystron un nivel bajo de una señal RF de entrada es acoplada al primer resonador el cual es conocido como cavidad agrupadora (buncher cavity). La señal de RF de entrada excita a la corriente en las paredes de la cavidad, la cual genera un campo eléctrico el cual modula la velocidad de los electrones creando grupos de electrones.

Después que los electrones abandonan el primer resonador, los electrones se dirigen hacia el colector, pasando a través de los resonadores intermedios, y llegando a la cavidad de salida, si esta cavidad es de tamaño correcto, es decir esta sintonizada a la frecuencia apropiada se genera la corriente oscilante en esta cavidad, lo cual resulta en una RF de salida.

Para adquirir una alta ganancia y el nivel de potencia saturada requerida, cavidades intermedias, tales como una segunda y tercera cavidad.

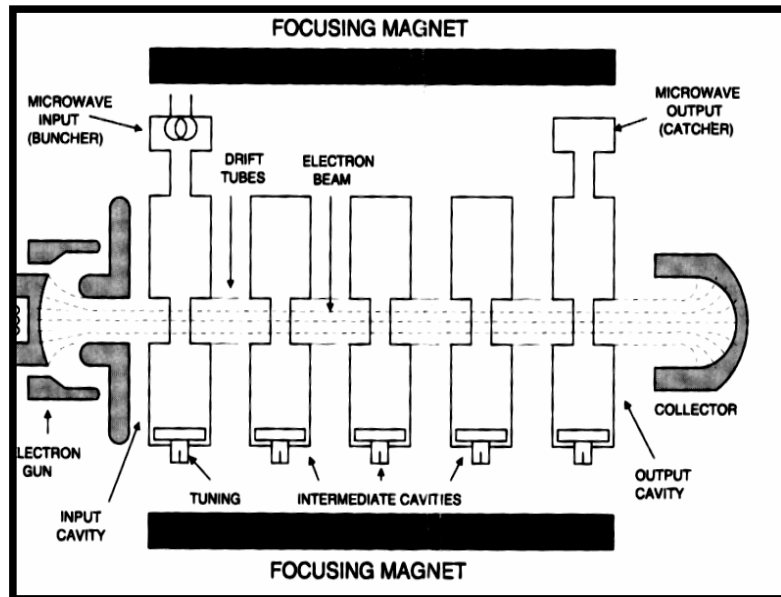


Figura 6.13 AMPLIFICADOR KLYSTON

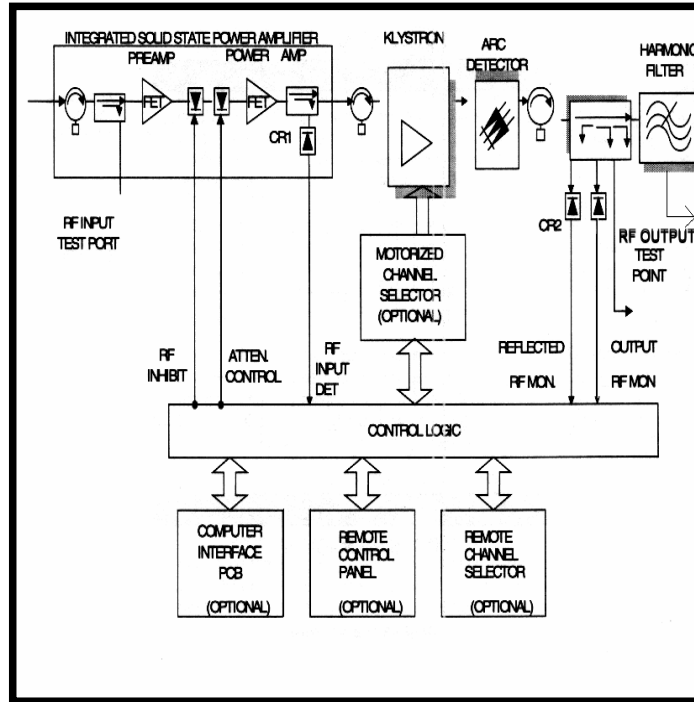


Figura 6.14 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN AMPLIFICADOR KLYSTRON

6.14.2 AMPLIFICADORES TWTA

Llamados también amplificadores de tubo de onda viajera poseen una ganancia de potencia típica de 25 a 50 dB, la eficiencia en general es una función del ancho de banda y se encuentra entre un 20% a un 40% siendo 20% una figura típica.

Los TWTA usa un haz de electrones enfocados magnéticamente y una estructura de guía tal como una espira, la velocidad del haz de electrones es

ajustada para ser aproximadamente igual a la velocidad de fase de una onda electromagnética propagándose entre las espiras

Una estructura de onda lenta esta localizada entre la pistola de electrones y el potencial positivo del colector, esta talvez tome varias formas una de ellas se muestra en la figura estas estructuras deben estar protegidas contra los bombardeos que producen las altas intensidades de los haces de los electrones, de cualquier forma el enfoque es esencial y este esta definido por un mínimo de corriente, típicamente 2mA para 20 Watt TWTA.

A continuación enumeramos los elementos básicos de un TWTA.

- Pistola de electrones (electrón gun)
- Cátodo
- Calentador
- Electrodo de enfoque
- Anodo
- Estructura de onda lenta (slow wave).

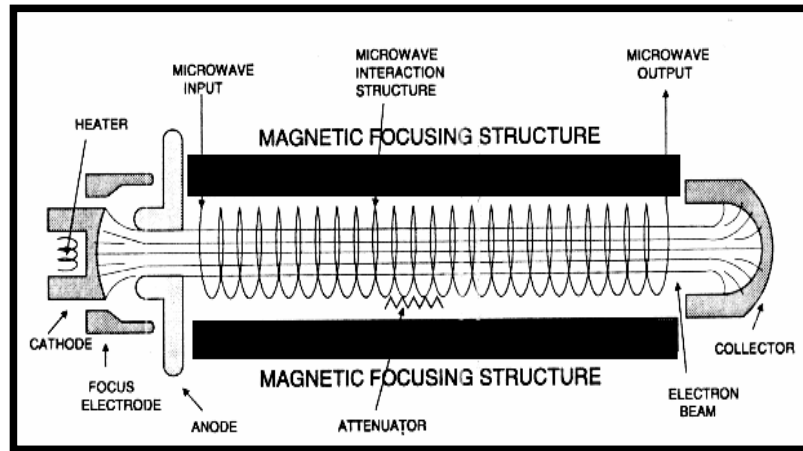


Figura 6.15 AMPLIFICADOR TWTA

6.14.3 AMPLIFICADORES SSPA

Conocidos en el mercado de telecomunicaciones como amplificadores de estado sólido

Avances en el campo de los transistores de efecto de campo FET, particularmente con los FETs de galio y arsénico tienen un significativo impacto en las comunicaciones por satélite. Los SSPAs son utilizados hoy para reemplazar a los TWTA en las estaciones terrenas y en las nuevas generaciones de los satélites. Los SSPAs ofrecen las siguientes ventajas sobre los TWTA:

- Distorsión por intermodulación de tercer orden más bajos
- Alta confiabilidad
- Costos de mantenimiento más bajos
- Vida de operación mayor comparado con los TWTA
- Seguridad personal mayor (sin peligro por los altos voltajes)
- Bajo consumo de potencia

El GaAs es el sustrato de material para formar los FETS, este semiconductor presenta los siguientes rasgos:

- En el GaAs, la conducción de electrones tiene 6 veces más movilidad y doble velocidad de pico que en el silicón, esto resulta en una resistencia parásita más baja, y tiempo de tránsito de electrones más cortos.
- Presenta capacitancias parásitas muy bajas y tiene una resistividad mucho mayor que $10^7 \text{ ohm} \cdot \text{cm}$.

Estas características y un diseño adecuado permiten a los amplificadores exhibir altas frecuencias, potencias altamente confiables, y un bajo ruido. Los SSPAs tienen una intermodulación de tercer orden mucho mejor que la de los TWTA y los KLYSTRON. La intermodulación de tercer orden para un SSPA de 20 Watt se muestra en la gráfico, la peor relación portadora - intermodulación es de 14 dB sobre la banda de frecuencia entera.

Esta relación portadora-intermodulación para los SSPA Es aproximadamente 5 dB mejor que para los TWTA, por esta razón pueden operar típicamente con 2 0 4 dB de salida sobre una operación multiportadora, por el contrario los TWTA debe ser mayor de 7dB.

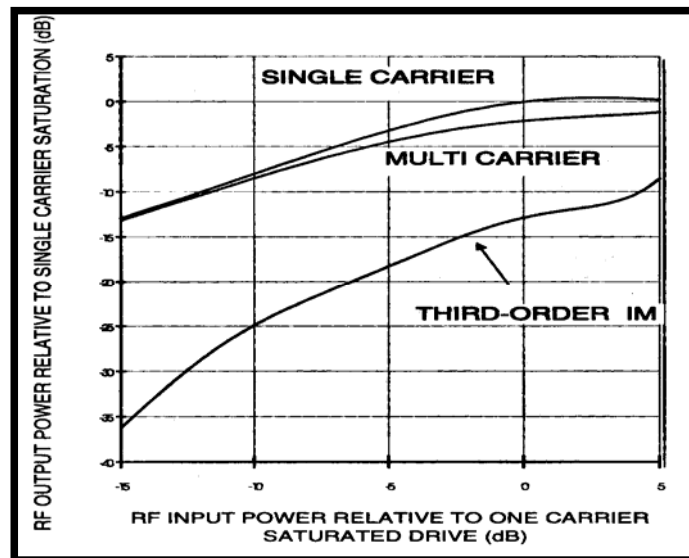


Figura 6.16 OPERACIÓN TÍPICA DE UN SSPA DE UN IM DE TERCER ORDEN

La potencia de salida máxima de los FET de GaAs es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia, así un típico FET de GaAs que ofrece 10 watt a los 6 Ghz entregara aproximadamente 2 Watt a los 14 Ghz. Es posible incrementar la potencia de salida mediante FETS de GaAs en paralelo como se observa en la figura o incorporando estaciones amplificadoras adicionales.

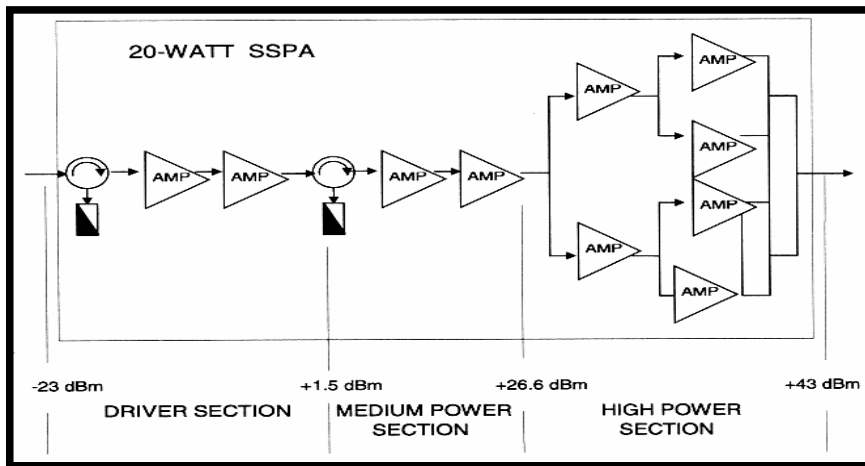


Figura 6.17 ETAPAS DE LA AMPLIFICACION DE UN SSPA

6.15 AMPLIFICADORES DE BAJO RUIDO (LNA)

Los amplificadores de bajo ruido LNA como su nombre le dice son amplificadores que tienen una muy buena relación señal ruido con un ancho de banda amplio, esto lo hace esencial para uso con una primera estación en la estación receptora.

El movimiento aleatorio de electrones causa el ruido térmico, utilizando semiconductores este ruido puede ser minimizado reduciendo la temperatura de ruido de los LNA.

La figura de mérito (G/T) para una estación terrena es virtualmente determinada por la figura de ruido F y la ganancia el LNA junto con la ganancia de la antena.

El LNA es generalmente montado tan cerca del alimentador de la antena como sea posible así las pérdidas en la línea de transmisión serán las mínimas posibles.

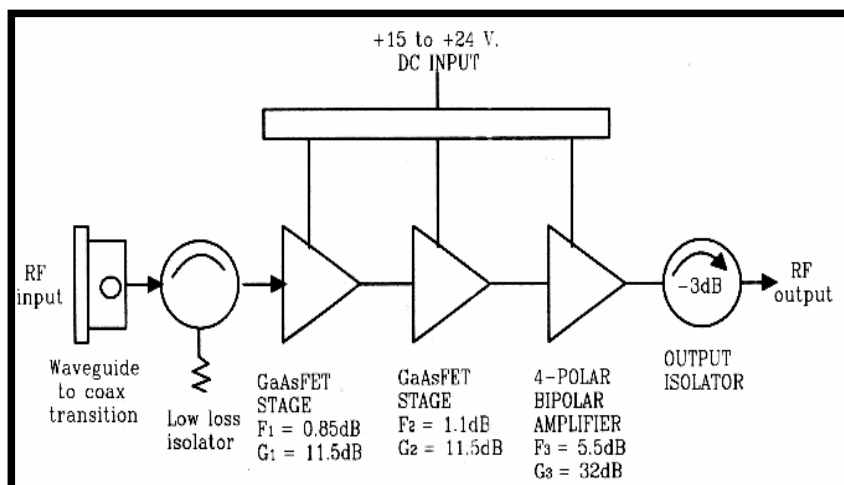


Figura. 6.18 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LNA

6.16 COMBINADORES DE FRECUENCIA

En las partes anteriores se comento sobre los amplificadores de potencia, los amplificadores de bajo ruido, y los requerimientos para mantener una potencia constante EIRP al satélite. La habilidad para mantener la frecuencia correcta como la permitida por INTELSAT debe también tener su comentario. La estabilidad de la frecuencia es un requerimiento obligatorio y varia para cada servicio en particular, por ejemplo para las portadoras IDR se requiere mantener con un margen de tolerancia de 3.5 Khz de la frecuencia permitida. Para alcanzar estos limites el UP CONVERTER en la transmisión y el DOWN CONVERTER son más importantes. Este capitulo discute los principios de los UP/DOWN CONVERTER.

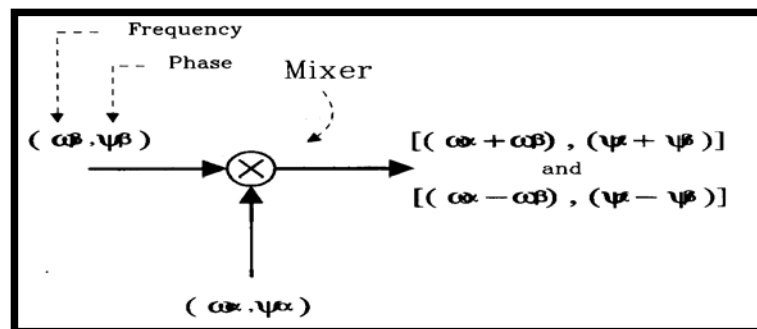


Figura 6.19 PRINCIPIO DEL MEXCLADOR

La clave para la conversión de frecuencia es el mezclador, que genera frecuencias que son sumadas y restadas de dos frecuencias de entrada como se observa en la figura. La no-linealidad produce señales de frecuencias deseadas, pero estas también producen otras señales que podrían causar problemas.

6.17 UP CONVERTER

Usando los principios descritos, los UP CONVERTER trasladan la frecuencia Intermedia (IF) a una señal de Radiofrecuencia (RF). Ejemplo en la banda de los 6 GHz y de los 14GHz. Por lo contrario, los DOWN converter trasladan la señal de Radiofrecuencia (RF), ya sea de la banda de 4GHz o 11/12GHz a una señal de frecuencia intermedia (IF), como lo muestra la figura.

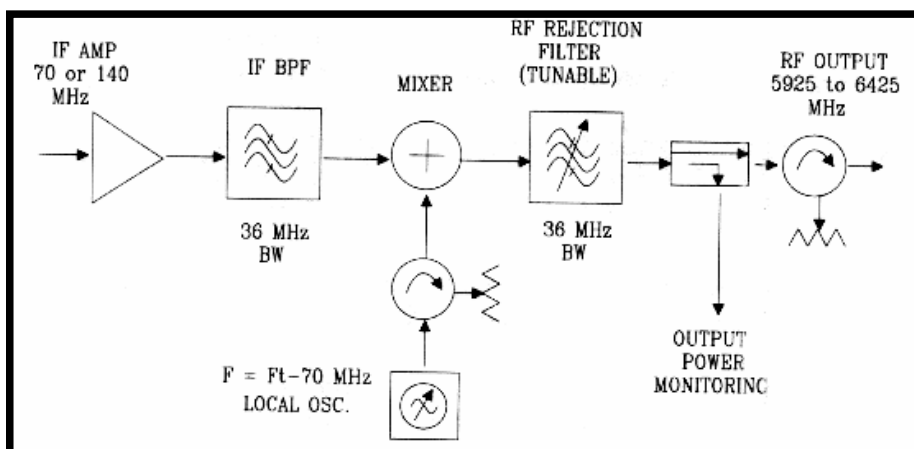


Figura 6.20 CONVERSION SIMPLE DEL UP-CONVERTER

Como un ejemplo en una técnica simple de mezcla para la conversión tenemos:

$$F1 = 70 \text{ Mhz (IF)}$$

$$F2 = 6250 \text{ Mhz (frecuencia mezclada)}$$

$$F3 = 6320 \text{ Mhz (Frecuencia de salida requerida)}$$

Por la mezcla de F1 y F2, se producirá:

$$6250 \text{ Mhz} + 70 \text{ Mhz} = 6320 \text{ Mhz, pero también:}$$

$$6250 \text{ Mhz} - 70 \text{ Mhz} = 6180 \text{ Mhz.}$$

La frecuencia deseada es 6320 Mhz. Pero nosotros también tenemos 6180 Mhz, estas frecuencias son llamadas Banda lateral Superior o Banda lateral inferior. Un buen filtro pasabanda es necesario para remover las bandas laterales no deseadas. El uso de un filtro pasabajo en la salida del UP CONVERTER es la principal desventaja de los convertidores sencillos.

6.18 DOWN CONVERTER

Si el proceso de mezcla es usado en un DOWN CONVERTER como se muestra en la figura 7.23, el proceso mezclara una frecuencia no deseada en la banda y producirá dos salidas.

$F_3 = 4150$ Mhz Frecuencia requerida por el DOWN CONVERTER

$F_2 = 4010$ Mhz Frecuencia imagen

$F_1 = 4080$ Mhz Frecuencia mezclada

La frecuencia de 4150 Mhz Mezclada con la de 4080 Mhz, dan 70 Mhz y también la frecuencia de 4010 Mhz mezclada con 4080 Mhz, dan 70 Mhz.

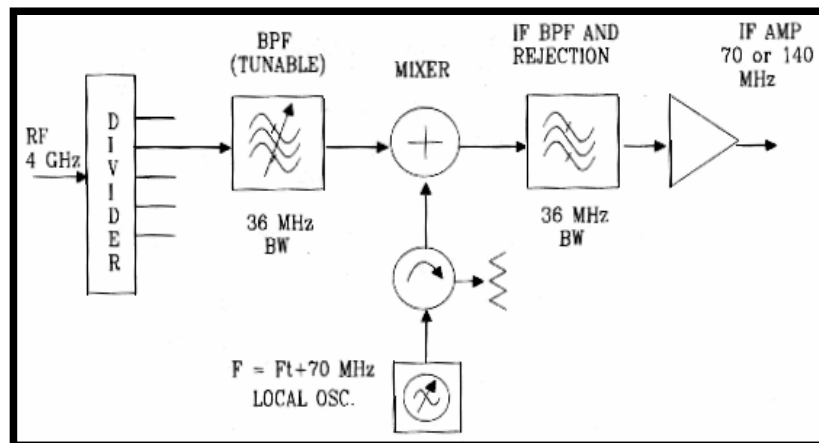


Figura 6.21 CONVERSION SIMPLE DEL DOWN-CONVERTER

Esto muestra como llegan tanto 4150 Mhz como 4010 Mhz a dar la misma salida de 70 Mhz. De todos modos un filtro pasabanda debe ser insertado a la entrada de la señal de 4080 Mhz, para no permitir que dos frecuencias den una misma IF.

En conclusión los UP CONVERTER y DOWN CONVERTER están usualmente compuestos por:

- Un filtro de RF
- Dos mezcladores en cascadas
- Dos osciladores Locales (Uno de frecuencia fija y otro de frecuencia variable)
- Amplificadores de If posiblemente con control automático de ganancia (AGC)
- Filtros IF
- Ecuilibradores de retardo de grupo.

Las características principales (VENTAJAS) de los UP CONVERTER DOBLE y los DOWN CONVERTER DOBLES son:

- Ancho de banda
- Agilidad de frecuencia

- Ecuación
- Linealidad
- Tolerancia en la frecuencia de la portadora

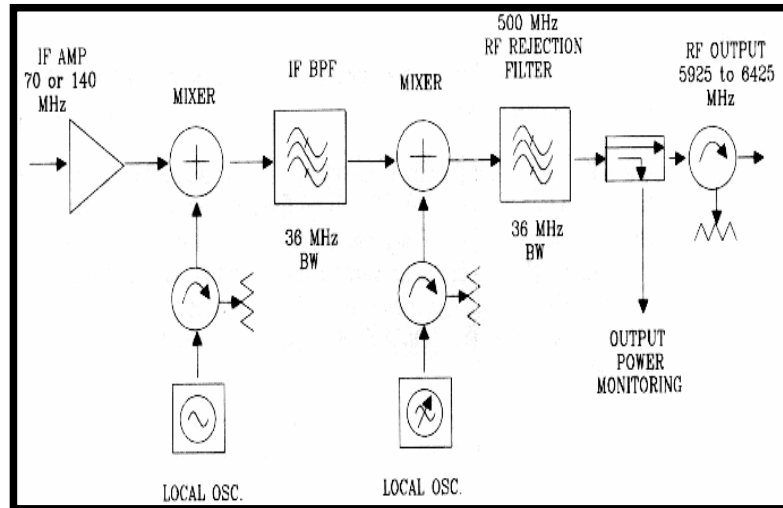


Figura 6.22 CONVERSION DOBLE DEL UP-CONVERTER

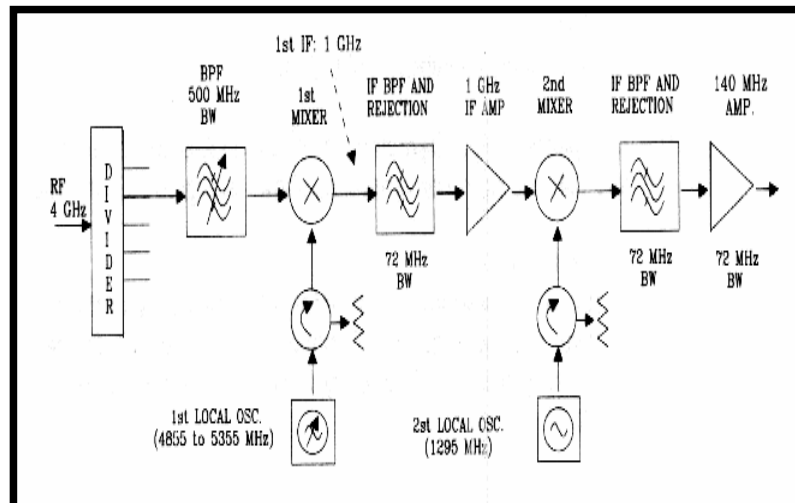


Figura 6.23 CONVERSION DOBLE DEL DOWN-CONVERTER

CAPITULO VII

ESTUDIO DEL PROYECTO

7.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Recibir la portadora de televisión digital, comprimida en formato MPEG-2, bajo la norma DVB-S, proveniente del satélite INTELSAT VIII A 805 (304.5° E), por medio de la ESTACION TERRENA ubicada en la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno, para posteriormente ser demodulada, demultiplexada y decodificada, y obtener las señales analógicas de audio y video en estándar americano NTSC-M, que provienen de las estaciones televisivas ubicadas en el Ecuador continental, a través de la estación terrena transmisora ubicada en Guayaquil.

Las señales analógicas de audio y video, recuperadas, serán enviadas hacia un transmisor de televisión analógico para que se difundan, hacia la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno de la isla San Cristóbal en Galápagos, como la señal del canal 11 de televisión de VHF banda III. Y de esta manera mantener siempre comunicado a los pobladores de la región insular con el Ecuador continental a través de la televisión ecuatoriana y mitigar la intervención de emisoras televisivas extranjeras en la región insular.

Todo la infraestructura y el equipamiento que serán utilizados para la implementación del diseño deberá cumplir con todas las normativas de operación y funcionamiento que exigen los principales organismos regulatorios nacionales e internacionales como son la Superintendencia de Telecomunicaciones, la FCC, CCIR, ITU, INTELSAT, DVB. Como también deberá cumplir con las normas de construcción para este tipo de servicio.

Toda la infraestructura deba ser reutilizable para el caso de una expansión en el desempeño del sistema de acuerdo con el crecimiento poblacional.

7.1.1 ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO

Para llevar a cabo nuestros objetivos, organizamos el proyecto de la siguiente manera:

- Elección del lugar donde se implementará el proyecto.
- Análisis y diseño técnico del sistema, selección de equipos.
- Diseño de los sistemas de protección, de enfriamiento y eléctrico.
- Especificaciones de la obra civil y de la puesta a tierra.

- Alcance económico del proyecto.

7.2 SELECCION DEL SITIO PARA LA ESTACION DE RECEPCIÓN SATELITAL y TRANSMISIÓN TERRESTRE.

La localización de los equipos, tanto para la recepción satelital como el transmisor VHF, estará ubicada en la periferia de la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno (isla San Cristóbal), según las coordenadas descritas abajo, porque en dicho lugar no solo que permite la mejor visibilidad para la transmisión de la señal VHF hacia la ciudad, sino que también posee facilidad de acceso vial, suministro de energía eléctrica, servicios de agua potable y de alcantarillado.

Las coordenadas geográficas del sitio de recepción satelital y transmisión broadcast se obtuvieron con la ayuda de mapas topográficos proporcionados por el INOCAR de la armada ecuatoriana y son las siguientes:

Longitud : 89° 36' 56" Oeste.

Latitud: 0° 53' 56" Sur.

Altura: 6 metros sobre el nivel del mar.

7.3 ANÁLISIS TÉCNICO

Aquí trataremos los criterios para la selección de las partes constitutivas del proyecto, y para una mejor comprensión del análisis técnico, hemos dividido el diseño del proyecto en dos etapas:

- Diseño del sistema de recepción satelital
- Diseño del sistema de transmisión terrestre.

La primera parte se constituirá de los siguientes elementos:

- Antena para recepción satelital.
- Amplificador de bajo ruido (LNB).
- Sistema receptor IRD, compuesto de demodulador, decodificador audio y video MPEG – 2, codificador NTSC - M

Y la segunda parte estará conformada por:

- Transmisor RF para VHF banda III

- Sistema radiante terrestre.

En la figura 7.1, pueden apreciar el esquema en bloques de las etapas constitutivas de nuestro diseño, e ilustra todo lo descrito antes, y el cual utilizamos como punto de partida para poder establecer las características técnicas de los elementos de cada etapa.

DIAGRAMA DE BLOQUES

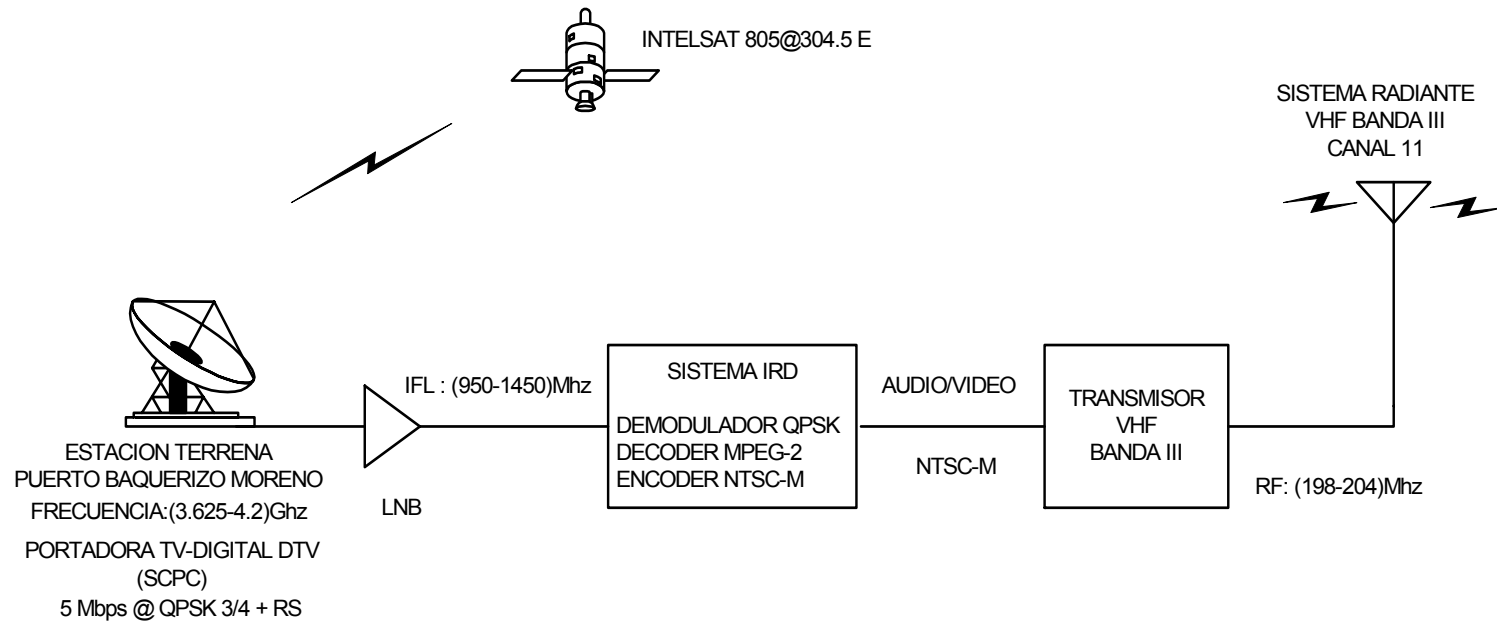


Figura 7.1: DIAGRAMA EN BLOQUES DEL SISTEMA RECEPTOR SATELITAL Y TRANSMISIÓN TERRESTRE.

7.3.1 PRIMERA PARTE: Diseño de la estación receptora satelital.

A continuación presentamos los cálculos preliminares de nuestra estación terrena receptora, siguiendo las recomendaciones de INTELSAT, y que corresponden a los ángulos de vista (apuntamiento hacia el satélite), distancia entre el satélite y la estación terrena, el ángulo de polarización y las pérdidas por espacio libre.

7.3.1.1 CÁLCULO DEL APUNTAMIENTO DE LA ANTENA RECEPTORA SATELITAL HACIA EL SATÉLITE INTELSAT 805 (ÁNGULOS DE VISTA).

Para calcular los ángulos de vista de la antena receptora, necesitamos conocer la ubicación del INTELSAT VIII A 805 y las coordenadas de la estación terrena para aplicar las ecuaciones que nos permitan obtener de forma manual los ángulos de vista¹ (elevación y acimut)

- **Angulo de elevación:**

$$EL = \arctan \left[\frac{\cos \alpha - 0.15127}{\text{sen} \alpha} \right]$$

$$\alpha = \arccos \left[\cos \Delta w \times \cos \varphi \right]$$

donde:

Δw = diferencia de longitud entre la estación terrena y el satélite

φ = latitud de la estación terrena, referida al hemisferio norte.

Datos de coordenadas:

- **ORBITA INTELSAT VIII 805:** 304.5° Longitud ESTE (55.5° OESTE)

ESTACION TERRENA San Cristóbal en Puerto Baquerizo Moreno:

- Latitud: 0° 53' 56" Sur.
- Longitud: 89° 36' 56" Oeste = 270.384° Este

Entonces la diferencia de longitudes será:

$$\Delta w = 89^{\circ} 36' 56'' - 55.5^{\circ} = 89.6155^{\circ} - 55.5^{\circ} = 304.5^{\circ} - 270.384^{\circ}$$

$$\Delta w = 34.12^{\circ}$$

$$\varphi = 0^{\circ} 53' 56'' \text{ (sur)} = 0.8989^{\circ} \text{ (sur)} = -0.8989^{\circ} \text{ (norte)}$$

¹ Tomadas del manual Earth Stations Technology de Intelsat.

Reemplazando valores: $\alpha = \arccos[\cos 34.12 \times \cos(-0.8989)]$

$$\alpha = 34.126^\circ$$

Entonces como parte final calculamos el ángulo de elevación:

$$EL = \arctan\left[\frac{\cos 34.126 - 0.15127}{\text{sen}34.126}\right]$$

$$\text{ELEVACION} = 50.33^\circ$$

- **Angulo acimutal.**

El ángulo de acimut depende de la posición relativa de la estación terrena a la línea ecuatorial y el satélite en cuestión.

Las ecuaciones que el manual de INTELSAT nos da para los dos hemisferios son:

$$AZ = \arctan\left[-\frac{\tan \Delta w}{\text{sen} \varphi}\right] + 180 \quad \text{para hemisferio Norte}$$

$$AZ = \arctan\left[-\frac{\tan \Delta w}{\text{sen} \varphi}\right] \quad \text{para hemisferio Sur}$$

En nuestro caso la estación terrena se encuentra en el hemisferio sur. Así pues, procedemos a realizar el cálculo del azimut tomando los datos del satélite y la estación terrena.

$$AZ = \arctan\left[-\frac{\tan 34.1155}{\text{sen}(-0.8989)}\right], \text{ entonces}$$

Acimut = 88.67°

Esto significa que la antena receptora debe apuntar a 50.33° sobre el horizonte y a 88.67° hacia el nordeste.

- **Angulo de polarización**

Como el satélite utiliza polaridad lineal para transmitir la señal portadora hacia la tierra, necesitamos conocer la cantidad de grados que hay que girar el alimentador para que este se alinee con el satélite. Este ángulo de polarización viene dado por la siguiente relación:

$$\theta_{pol} = \arctan\left[\frac{\text{sen}\Delta w}{\tan \varphi}\right]$$

Reemplazando valores tenemos:

$$\theta_{pol} = \arctan \left[\frac{\sin(34.1155^\circ)}{\tan(-0.8989^\circ)} \right]$$

Angulo de polarización = - 88.4°

Esto nos indica que el conjunto formado por alimentador y LNB debe girarse 88.4° siguiendo las manecillas del reloj para que este pueda recibir la señal satelital en la misma polaridad que el satélite.

7.3.1.2 CÁLCULO DE LA DISTANCIA ENTRE LA ESTACIÓN TERRENA Y EL SATÉLITE.

La distancia entre una estación terrena y un satélite geoestacionario es:

$$d^2 = R^2 + Ro^2 - 2R \times Ro \times \cos \alpha$$

donde:

d = distancia desde la estación terrena al satélite

R = distancia del satélite al centro de la Tierra = 42,164 km

Ro = radio terrestre = 6,378 km

α = ángulo del círculo mayor, obtenido anteriormente.

Reemplazando valores:

$$d^2 = 42,164^2 + 6,378^2 - 2 \times 42,164 \times 6,378 \times 0.83 = 1372071273 \text{ km}^2$$

Distancia al satélite = 37041.48 km

7.3.1.3 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR ESPACIO LIBRE.

Las pérdidas por trayectoria L_o , se las obtienen así:

$$L_o[dB] = 20 \log d[km] + 20 \log f[Ghz] + 92.5$$

$$L_o[dB] = 20 \log 37041.48[km] + 20 \log 4 + 92.5$$

$L_o = 195.915 \text{ dB}$

Entonces ahora ya disponemos de criterios para realizar el montaje de la antena, la cual estará ubicada, sobre una base de hormigón, apuntando al INTELSAT 805 de acuerdo a los parámetros calculados.

7.3.1.4 SELECCIÓN DE LA ANTENA RECEPTORA Y DEL LNB: CÁLCULO DEL ENLACE SATELITAL.

Ahora determinaremos las características del conjunto antena parabólica – LNB que necesitaremos para lograr recibir la señal digital de televisión aún en las peores condiciones de degradación. Para alcanzar este objetivo es necesario contar con toda la información necesaria como se hace a continuación.

Pero primeramente estableceremos las características del LNB que necesitaremos colocar junto al alimentador de la antena.

Para la elección de nuestro LNB consideramos la frecuencia del canal que pretendemos recibir y el margen estándar de frecuencias de entrada del receptor satelital IRD-DVB que es de 950 Mhz a 2150 Mhz. También consideramos que el oscilador local debe ser muy estable, y como la estación recibe señales de video digital comprimido y moduladas en fase debe ser necesario que el LNB posea bucle de enganche de fase PLL y que además el ruido de fase del oscilador local sea mínimo.

Tenemos también en cuenta que actualmente los LNB's tienen ganancias típicas de 60 a 70 dB, y temperaturas de ruido de 45°K a 150°K en banda Ku, y desde 20°K en banda C (que es nuestro caso), a 20°C.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, escogimos a un fabricante muy reconocido en nuestro medio como lo es la CALIFORNIA AMPLIFIER, cuyo LNB posee un oscilador local de 5.15 Ghz, una temperatura de ruido de 20 °K, margen de salida de 950 a 1750 Mhz y un ruido de fase bajo como se verán en las características técnicas del capítulo 8.

Ahora, como conocemos que la banda de recepción de la señal es de 3625 Mhz a 4200 Mhz, y con las características del oscilador local del LNB, procedemos a averiguar si el oscilador local del LNB del fabricante escogido es el adecuado para poder recibir el canal en cuestión. Y para lograrlo, calcularemos el rango que tendrá la señal IFL a la salida del LNB y que debe caer dentro del margen de entrada del receptor satelital IRD y dentro del margen de salida del LNB. Para el cálculo de este margen de entrada utilizamos las siguientes expresiones:

Frecuencia Máxima entrada Receptor = Oscilador Local - Frecuencia Mínima Satélite

Frecuencia Mínima entrada Receptor = Oscilador Local - Frecuencia Máxima
Satélite

Ingresando valores tenemos:

$$\text{Frecuencia máxima IFL [Mhz]} = 5150 - 3625 = 1525$$

$$\text{Frecuencia mínima IFL [Mhz]} = 5150 - 4200 = 950$$

Entonces el margen de entrada del receptor IRD – DVB es: **950 a 1525 [Mhz]**

Como observarán el rango que calculamos sí cae dentro del margen estándar del IRD y dentro del margen de salida del LNB, lo que significa que el LNB escogido sí es el adecuado para recibir la señal portadora de televisión digital.

Para seleccionar el tamaño de la antena parabólica receptora, haremos un estudio comparativo con los diferentes tamaños de antenas para sólo recepción del fabricante PATRIOT. Aunque se puede escoger a cualquier casa fabricante, escogimos a este fabricante porque sus costos y buenas características técnicas, como la resistencia al viento, son la mejor conveniencia para nuestros propósitos.

El estudio que proponemos consiste en realizar el cálculo satelital con cada una de las antenas del fabricante escogido para averiguar cual de ellas nos

ofrece la mejor calidad de señal en las peores condiciones de operación, de tal manera que siempre mantengamos los recursos proporcionados por el operador del satélite y no se eleven los costos de operación por el alquiler de más recursos. Esto lo logramos comparando la calidad que ofrece cada una de ellas en las peores condiciones operativas con el mínimo que exige la norma DVB-S como lo muestra la tabla 7.1. Y para llevar a cabo esta comparación utilizamos la temperatura de ruido del LNB escogido y los datos que mostramos a continuación.

Datos para los cálculos:

- **Características del segmento espacial del satélite:**

Las características del segmento espacial del INTELSAT 805 son proporcionadas por el operador del satélite en sus documentaciones IESS.



Figura 7.2: HUELLA DEL SATÉLITE INTELSAT 805.

Satélite: INTELSAT VIIIA 805

Ubicación: 304.5° Este

Transponder total: banda C: 36 (36 Mhz cada uno); Banda Ku: 6 (36 Mhz c/u)

Polarización: lineal, para banda C o Ku.

PIRE_{saturation} (banda C haz hemisférico): 37.5 dBW

G / T sat: -8,0 dB/k

SFD: -82 dBw/m²

IBO total: - 4.8 dB

OBO total: - 3.0 dB

IBO (backoff de entrada): -15.1 dB por portadora

OBO (backoff de salida): -13.3 dB por portadora

Recursos proporcionados:

PIRE (disponible): 25.8 dBW

OFD (disponible): -95.5 dBW/m²

Pattern advantage (β_d): -0.8 dB

SAT-im: -21.0 dBW/4kHz

HPA-im @ 10° elevación: 16 dBW/4khz

C/I- co: 20.8 dB

- **Características de la portadora:**

Tipo de portadora: DTV (televisión digital)

Banda de recepción: 3625 a 4200 MHz

Frecuencia de recepción: 4GHz

Numero de portadoras: 1 (scpc)

Data Rate: 5 Mbps

Modulación : QPSK, FEC: $\frac{3}{4}$, Código Reed Solomon (RS): 204,188

Factor de Rolloff: 0.35

Ancho de banda asignado [B_{alloc}]: 4.8830 Mhz

Ancho de banda disponible: 4.9 Mhz

Ancho de banda ocupado o de ruido [B_{occ}]: 3.617 Mhz

Tasa de transmisión: 7.234 Mbps.

Pérdidas por trayectoria: 195.915 dB

Margen bajada (degradación): 1 dB

- **Datos estación terrena transmisora:**

Código: GYE

Ubicación: 280.1° Este; -2.22° Norte.

Elevación: 61.35°

Acimut: 85.125°

- **Parámetros del enlace de subida (uplink):**

Frecuencia de operación: 6 [Ghz]

C/T up = -142.11 [dBW/°K]

Márgen up = 1 [dB]

Además de los datos descritos arriba, necesitamos también conocer las condiciones de funcionamiento mínimas que se requieren para establecer un buen enlace satelital de televisión digital. Para esto nos ayudará la tabla 7.1, que muestra las condiciones que necesitamos conocer según la normativa ETS300421 conocida comúnmente como norma DVB – S.

FEC	Eb/No umbral [dB]	
	IF	RF
1/2	4.5	4.9
2/3	5.0	5.4
3/4	5.5	5.9
5/6	6.0	6.4
7/8	6.4	6.8

Tabla 7.1: CONDICIONES MÍNIMAS DE UN ENLACE SATELITAL DE TELEVISIÓN DIGITAL CON MODULACIÓN QPSK.

En la Eb/No de umbral, la BER correspondiente es de 2×10^{-4} a la salida del decodificador Viterbi (a la entrada del Reed Solomon) y es de 10^{-10} después del Reed Solomon. De acuerdo a los parámetros de la portadora, el esquema de modulación es QPSK $\frac{3}{4}$ + Reed Solomon y según la tabla 7.1, el requisito mínimo para el enlace satelital RF es de 5.9 dB.

En la tabla 7.2 se muestran los diferentes cálculos efectuados que nos ayudarán a obtener el tamaño más adecuado de la antena parabólica que nos permitirá cumplir con nuestros objetivos. Para la realización de los cálculos satelitales utilizamos las siguientes expresiones:

PIRE utilizado del transpondedor:

$$PIRE_{(down)} [dBW] = PIRE_{(saturación)} - OBO + \beta d$$

Nivel de portadora: $C [dBW] = EIRP_{(down)} - L + Grx$

Pérdidas: L [dB] = L_0 + $L_{\text{atmosféricas}}$ + $L_{\text{(lluvia)}}$ + $L_{\text{(tracking)}}$ + $L_{\text{waveguide}}$

Relación portadora a ruido térmico subida:

$$C/T_{\text{(up)}} [\text{dBW}/^\circ\text{K}] = \text{PIRE}_{\text{up}} - L_0_{\text{(up)}} + G/T_{\text{(satélite)}} + \beta_u - \text{márgen}_{\text{(up)}}$$

Relación portadora a ruido térmico bajada:

$$C/T_{\text{(down)}} [\text{dBW}/^\circ\text{K}] = \text{PIRE}_{\text{(down)}} - L_0_{\text{(down)}} + G/T_{\text{(ET)}} - \text{márgen}_{\text{(down)}}$$

Figura de mérito: G/T [dB/°K] = $G_{\text{Rx}} - 10 \log T_{\text{sys}}$

Temperatura de ruido del sistema:

$$T_{\text{sys}} [\text{dBK}] = 10 \log [(T_{\text{ant}}/L_{\text{feed}}) + (1 - (1/L_{\text{feed}})) \times 290 + T_{\text{LNB}}]$$

$$L_{\text{feed}} = 10^{(L_{\text{feed}} [\text{dB}]/10)}$$

$$L_{\text{feed}} [\text{dB}] = L_{\text{VSWR}} [\text{dB}] + L_{\text{waveguide}} [\text{dB}]$$

$$L_{\text{VSWR}} [\text{dB}] = 10 \log [(2 + \text{vswr} + (1/\text{vswr}))/4]; L_{\text{waveguide}} = 0.2 \text{ dB (típico)}$$

Producto de intermodulación HPA im ET transmisora:

$$C/T_{\text{HPA-im}} [\text{dBW}/^\circ\text{K}] = \text{Pire}_{\text{(up)}} - A + k_1 + 10 \log(4 \text{kHz}) - 228.6$$

$$\text{Factor de corrección: } K_1 = 0.02 (l_{\text{up}} - 10) + \beta_u + 0.4 [0.02 (l_{\text{dn}} - 10) + \beta_d]$$

Intermodulación del satélite:

$$C/T_{\text{sat-im}} [\text{dBW}/^\circ\text{K}] = \text{Pire}_{\text{(down)}} - \text{SAT}_{\text{im}} + 10 \log(4 \text{kHz}) - 228.6$$

Interferencia Co-canal: C/T_{co} [dBW/°K] = $C/I + 10 \log [B_{\text{occ}}] - 228.6$

Relación portadora a temperatura de ruido total del enlace²:

$$[C/T_{\text{(total)}}]^{-1} = [C/T_{\text{(up)}}]^{-1} + [C/T_{\text{(down)}}]^{-1} + [C/T_{\text{(hpa-im)}}]^{-1} + [C/T_{\text{(sat-im)}}]^{-1} + [C/T_{\text{co}}]^{-1}$$

² Todos los parámetros involucrados en esta expresión están en valores absolutos no en dB. Después de obtener el valor total hay que transformarlo a dB.

Relación de portadora a densidad de ruido³:

$$C/N_0 \text{ [dB-Hz]} = C/T - 10 \log k$$

Relación portadora a ruido: $C/N \text{ [dB]} = C/N_0 - 10 \log B_{occ}$

Relación energía de bit a ruido: $E_b/N_0 \text{ [dB]} = C/N_0 - 10 \log (\text{digital rate})$

Márgen de E_b/N_0 : $E_b/N_0\text{-márgen} = E_b/N_0 - E_b/N_0 \text{ umbral.}$

Donde:

IBO, OBO: respaldo de entrada y salida del transpondedor respectivamente, proporcionados por INTELSAT.

Grx: ganancia de la antena receptora, proporcionada por el fabricante.

β_u , β_d : Ventajas de subida y bajada respectivamente (pattern advantage), proporcionados por INTELSAT.

A: límite de intermodulación de los HPA's a un ángulo de elevación de 10° , proporcionado por INTELSAT.

lup: ángulo de elevación de la estación terrena transmisora.

ldn: ángulo de elevación de la estación terrena receptora más desfavorable.

SAT-im: límite de intermodulación especificado en 4 Khz, proporcionado por INTELSAT.

C/I: interferencia co-canal del satélite, proporcionado por INTELSAT.

³ Constante de Boltzmann: $10 \log k = -228.6 \text{ [dBW/khz]}$

Características de las antenas:									
Tamaño [m]	1.8	2	2.4	2.8	3.1	3.8	4.5	5	6.1
Grx @ 4Ghz[dBi]	35.7	36.9	38.5	39.8	40.7	42.4	43.1	45	46.4
Tant @50° EL [°K]	22	22	21	20	26	23	23	23	23
VSWR	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Lwaveguide[dB]	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
T LNB [°K]	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Preliminares:									
Lvswr[dB]	0.0745233	0.0745233	0.07452328	0.0745233	0.0745233	0.0745233	0.0745233	0.0745233	0.0745233
Lfeed [dB]	0.2745233	0.2745233	0.27452328	0.2745233	0.2745233	0.2745233	0.2745233	0.2745233	0.2745233
Lfeed	1.0652519	1.0652519	1.06525193	1.0652519	1.0652519	1.0652519	1.0652519	1.0652519	1.0652519
Tsys [°K]	58.41632	58.41632	57.4775748	56.53883	62.1713	59.355065	59.355065	59.355065	59.355065
Tsys [dBK]	17.665342	17.665342	17.5949844	17.523468	17.935899	17.734578	17.734578	17.734578	17.734578
Downlink:									
Pire(saturación)	37.5	dBW							
Output back-off	13.3	dB							
Pattern Advantage	-0.8	dB							
Path – Loss	195.91497	dB							
Margen_down	1	dB							
G/T [dB/K] a 4 GHz	18.034658	19.234658	20.9050156	22.276532	22.764101	24.665422	25.365422	27.265422	28.665422
C/T[dBw/K]	-155.75487	-154.55487	-152.884508	-151.51299	-151.02542	-149.1241	-148.4241	-146.5241	-145.1241
C/N [dB]	7.2616833	8.4616833	10.1320409	11.503557	11.991126	13.892447	14.592447	16.492447	17.892447

Tabla 7.2: ESTUDIO COMPARATIVO PARA ELEGIR EL TAMAÑO DE LA ANTENA RECEPTORA

Intermodulación del satélite:			Uplink:						
SAT im @ BE	-21	dBW/4kHz	Pire up	62.9	dBW				
C/Tsat-im	-147.3794	dBW/°K	Path-Loss	199.29841	dB				
Interferencia Co-canal:			G/T satélite	-8	dB/°K				
C/I	20.8	dB	pattern advtg	2.3	dB				
C/Tco	-142.21651	dBW/°K	C/T up	-142.09841	dBW/°K				
Intermodulación E/T TX:			C/No	86.501595	dB-Hz				
HPA-im@10° elevac	16	dBW/4kHz	C/N	20.91811	dB				
Corrección K1	3.32964		Márgen-up	1	dB				
C/T HPA-im	-142.36436	dBW/°K	Frec-up	6	Ghz				
TOTAL Link-budget:			Dist. - sat	36456	km				
Margen adicional ⁴	2.2	dB	IBO	15.1	dB				
Tamaño de antenas [m]	1.8	2	2.4	2.8	3.1	3.8	4.5	5	6.1
C/T [dBW/K]	-159.06021	-158.16019	-157.01935	-156.19207	-155.92332	-155.00553	-154.71934	-154.07437	-153.71042
C/No [dB-Hz]	69.539788	70.439806	71.5806504	72.407929	72.676677	73.594468	73.880659	74.525625	74.889583
Eb/No [dB]	2.5500877	3.4501058	4.59095034	5.4182287	5.6869768	6.6047682	6.8909592	7.5359253	7.8998825
C/N [dB]	3.9563026	4.8563207	5.9971653	6.8244436	7.0931918	8.0109832	8.2971742	8.9421402	9.3060974
C/N-márgen [dB]	-3.3436974	-2.4436793	-1.3028347	-0.4755564	-0.2068082	0.7109832	0.9971742	1.6421402	2.0060974
Eb/No-márgen [dB]	-3.3499123	-2.4498942	-1.30904966	-0.4817713	-0.2130232	0.7047682	0.9909592	1.6359253	1.9998825

Tabla 7.2 (continuación): ESTUDIO COMPARATIVO PARA ELEGIR EL TAMAÑO DE LA ANTENA RECEPTORA

⁴ El margen adicional involucra pérdidas por interferencia de satélites adyacentes, pérdidas de tipo terrestres y cualquier otro tipo de pérdidas por interferencia.

Analizando los resultados de la tabla 7.2 observamos, que si escogiéramos cualquier antena que tenga un margen de Eb/No negativo, significaría utilizar más recursos satelitales para poder captar el mínimo nivel de señal necesario lo que equivaldría a aumentar nuestros costos operativos. Por esto necesitamos una antena que posea un margen de Eb/No positivo para que los recursos satelitales disponibles se mantengan inalterables y evitar aumentar costos por adquisición de más recursos.

Si es cierto que mientras mayor sea el margen del Eb/No mejor será el nivel de la señal de portadora, pero debemos considerar que esto equivale también a adquirir una antena más costosa. Así pues, el tamaño adecuado de la antena que me permita optimizar los costos sin afectar el rendimiento del enlace, será aquel de entre las antenas que tengan un margen de Eb/No positivo, la que posea el menor margen de Eb/No positivo.

Por tanto de acuerdo con los resultados de la tabla 7.2, el mínimo tamaño necesario corresponde a una antena con 3.8 metros de diámetro.

Tamaño de la antena parabólica receptora: 3.8 metros

El montaje de esta antena se realizará sobre una base de concreto según lo indiquen las especificaciones técnicas y las recomendaciones de PATRIOT.

Con respecto al receptor satelital IRD-DVB, escogimos el modelo NTC-2179 de la marca NEWTEC debido a sus características técnicas muy buenas y a la gran flexibilidad para la interconexión con el transmisor VHF, y las cuales estaremos detallando en el capítulo 8.

Para evitar que nuestro sistema satelital receptor falle por algún problema del IRD (por ende también el sistema transmisor terrestre), creemos que es menester utilizar dos de estos equipos, de tal manera que el uno respalde al otro que esta activo en caso de alguna falla de este último. Pero para lograr utilizar el mismo LNB para ambos receptores, agregaremos un splitter de doble salida (cuyas características se detallan en el capítulo 8), a la entrada de ambos para que permita dividir la señal antes de ingresarla a los equipos.

- **Cálculo del Nivel de Señal a la entrada del demodulador del IRD.**

Una vez que escogimos el tamaño de la antena parabólica y los equipos que utilizaremos para la recepción satelital de la portadora digital de televisión, así como el LNB California y el splitter, podemos estimar el nivel de señal que tendremos a la entrada del demodulador que tiene internamente el IRD-DVB.

Pero antes especificaremos el cable que usaremos para conectar la salida del LNB hasta la entrada del IRD.

Según las especificaciones técnicas del LNB, este posee una salida tipo F (hembra) a 75 ohmios, por lo cual escogimos utilizar un cable coaxial RG-6 (también de 75 ohmios), por que es el que se utiliza comúnmente para llevar señales IF. La frecuencia IFL de trabajo la obtenemos así:

IFL = Frecuencia del oscilador Local LNB – Frecuencia RF de recepción.

$$\text{IFL} = (5150 - 4000) [\text{Mhz}]$$

$$\text{IFL} = 1150 [\text{Mhz}]$$

Las pérdidas que tendremos del cable RG-6 a la frecuencia IFL de trabajo son aproximadamente 24 dB cada 100 metros de longitud, es decir, que si estimamos utilizar 15 metros de este cable, las pérdidas serán:

$$\text{Pérdidas por cable IFL} = 15 \text{ m} \times (24 \text{ dB} / 100 \text{ m})$$

$$\text{Pérdidas por cable IFL} = 3.6 \text{ dB}$$

Las características de los equipos a utilizar son:

Ganancia de la antena: 42.4 dBi

Ganancia del LNB: 63 dB

Nivel de entrada del demodulador (según el fabricante): -65 a -25 dBm

De acuerdo a las características del splitter⁵, marca SPAUN, sus pérdidas son de 3.5 dB.

Además necesitamos conocer que la potencia de la señal que llegará a la antena será.

Nivel de llegada a la antena = $P_{\text{ire saturación}} - \text{OBO} + \beta d - L$

Nivel de llegada a la antena = $37.5 \text{ dBw} - 13.3 - 0.8 - (195.91497 + 1)$

Nivel de llegada a la antena = -173.51497 dBW = -143.51497 dBm⁶

Con toda esta información recopilada, podemos establecer el nivel de señal a la entrada del demodulador de la siguiente forma.

Nivel de entrada = Nivel recibido en la antena + Ganancia de la antena – pérdidas del alimentador + ganancia del LNB – pérdidas IFL del cable RG6 – pérdidas del splitter.

⁵ Las características del splitter se detallan más adelante en el capítulo 8.

Las pérdidas del alimentador, según la tabla 7.2, son 0.2745233 dB.

Los resultados de los cálculos para determinar el nivel de señal que tendrán los IRD's a sus entradas son resumimos en la siguiente tabla.

ELEMENTOS	GANANCIA [dB]	NIVEL DE SALIDA [dBm]
Nivel Recibido		-143.51497
Antena	42.4	-101.11497
Alimentador	- 0.2745233	-101.3894933
LNB	63	- 38.3894933
Enlace IFL	-3.6	- 41.9894933
Splitter	-3.5	- 45.4894933
Nivel de entrada al demodulador		- 45.4894933

Tabla 7.3: NIVEL DE SEÑAL A LA ENTRADA DEL DEMODULADOR IRD.

Como puede observar, de acuerdo con los resultados de la tabla 7.3 el nivel esperado de la señal a la entrada de los IRD's, se encuentra dentro del rango de niveles que estos aceptan para un correcto funcionamiento, según lo indicado por el fabricante.

⁶ dBm = dBW + 30

Con esto damos por terminado el diseño del sistema receptor satelital y a continuación realizaremos el estudio de propagación en VHF para la transmisión terrestre de la señal después de ser procesada por el IRD activo para convertirla en señal analógica NTSC-M.

7.3.2 SEGUNDA PARTE: Estudio de la transmisión terrestre.

Previamente determinada la zona a cubrir, en este caso Puerto Baquerizo Moreno, y antes de realizar los cálculos de radio propagación que determinen el nivel de potencia del transmisor que se requerirá, se elegirá el grado de servicio que se dará a la comunidad principal a servir según la banda VHF a utilizar, para esto nos ayudamos de las reglamentaciones FCC para los grados de señal de televisión que se ilustran en la tabla 7.3. Recordemos que nuestro diseño se realizará para el canal 11 de la banda VHF alta y cuya banda de asignación es 198 – 204 Mhz.

CANAL	FRECUENCIA [Mhz]	PRINCIPAL		GRADO A		GRADO B	
		[μ V/m]	dB μ	[μ V/m]	dB μ	[μ V/m]	dB μ
2 – 6 (VHF – L)	54 – 88	5010	74	2510	68	224	47
7 – 13(VHF – H)	174 – 216	7080	77	3550	71	631	56
14 – 83 (UHF)	470 – 806	10000	80	5010	74	1585	64

Tabla 7.4: GRADOS DE SERVICIO PARA LAS SEÑALES DE TELEVISIÓN.

La FCC también recomienda que la comunidad principal a servir debe tener la señal más óptima. Y por lo tanto, refiriéndonos a la tabla de arriba, Puerto Baquerizo Moreno tendrá un grado de servicio de por lo menos 77dBu de señal.

Una vez considerado lo anterior, trazamos (sobre el plano topográfico de la zona de interés), ochos radiales separados a 45° (según la CCIR) en el punto donde elegimos ubicar nuestro transmisor como se muestran en la figura 7.3, porque además que en ese punto se posee todos los servicios necesarios para el funcionamiento de nuestros equipos, también nos permite tener una buena claridad de la zona de interés y nos minimiza las pérdidas de señal debido a la reflexión del mar.

Coordenadas de la ubicación del transmisor VHF:

Longitud : 89° 36' 56" Oeste.

Latitud: 0° 53' 56" Sur.

7.3.2.1 SELECCIÓN DEL TRANSMISOR

Con las consideraciones hechas al inicio de esta sección y la tabla 7.3 que especifica el valor del nivel de señal que se requiere para una óptima calidad de servicio, podemos dimensionar el transmisor a utilizar. También se tuvo presente la existencia de línea de vista entre el sitio de transmisión de la señal hacia la comunidad a servir, de tal forma que solo se consideren pérdidas por trayectoria en el espacio libre.

Basándonos en los radiales nordeste, este y sureste de la figura 7.3, porque solamente ellos cubren la zona de interés, a diferencia de los otros cinco que se dirigen hacia zonas despobladas y hacia el mar. Teniendo también presente que la intensidad de campo eléctrico producido por un radiador isotrópico en el espacio libre viene dada por:

$$E_o = \frac{\sqrt{30 \times PIRE [W]}}{d [m]} \text{ [volts/metros]}$$

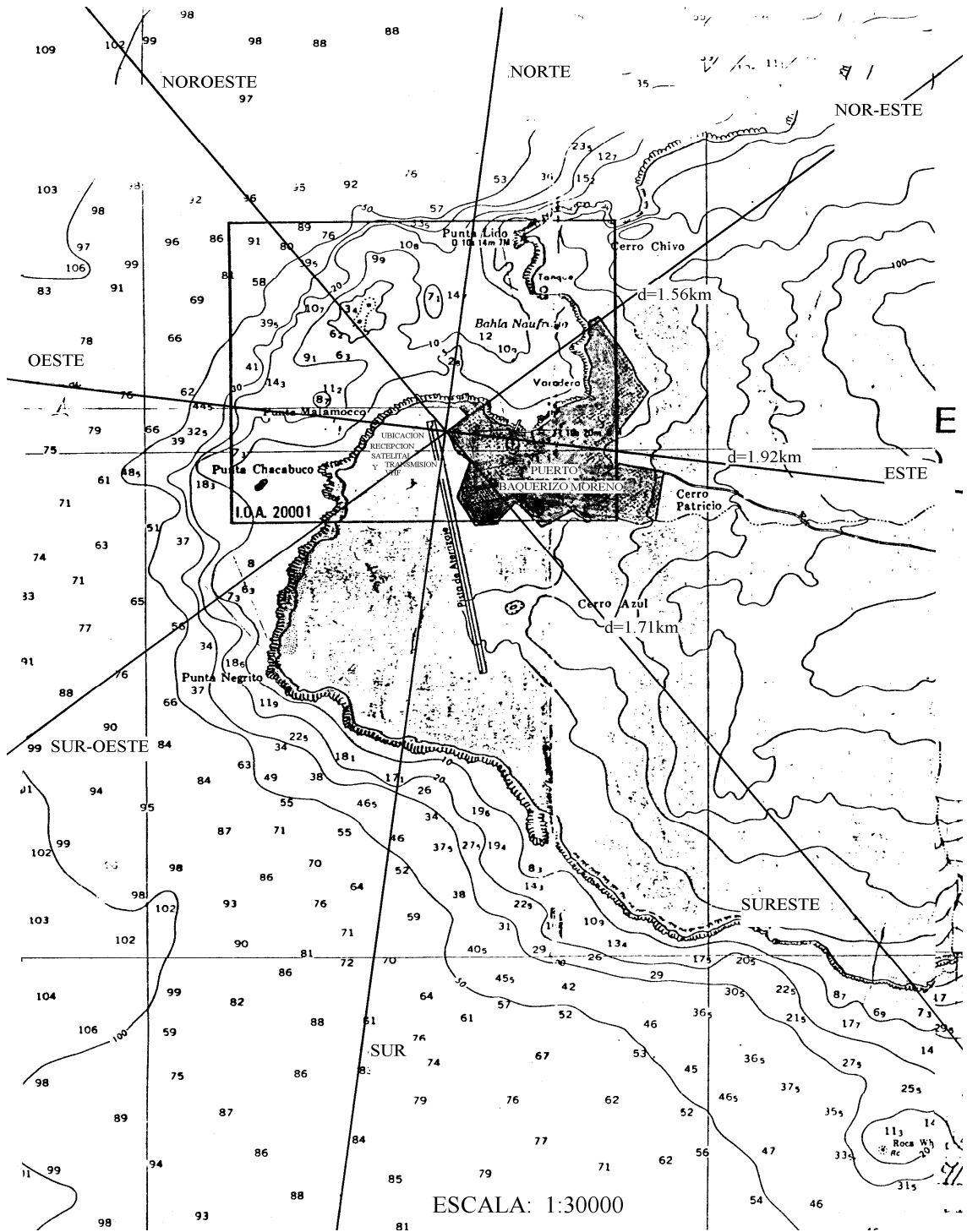


Figura 7.3: RADIALES SOBRE LA ZONA DE COBERTURA

Tomamos diferentes niveles de potencia a ciertas distancias sobre la periferia de la ciudad (en los radiales considerados), y teniendo en cuenta la capacidad de los transmisores que se encuentran en el mercado sin considerar perdidas por cable tenemos las siguientes tablas para determinar el grado de señal esperado y en los cuales:

$$Eo[mV / m] = \frac{\sqrt{30 \times PIRE[W]}}{d[m]} \times 1000$$

$$Eo[dBu] = 20 \log(1000 \times Eo[mV / m]).$$

distancia = 1.92 km @ Este			
PIRE [W]	Eo [mV/m]	Eo[dBu]	GRADO DE SERVICIO
1	2.8527217	69.105188	GRADO B
1.55	3.5516098	71.008505	GRADO A
2	4.0343577	72.115488	GRADO A
3	4.9410588	73.876401	GRADO A
4	5.7054433	75.125788	GRADO A
5	6.3788795	76.094888	GRADO A
5.5	6.6902253	76.508815	GRADO A
6.16	7.0802689	77.000995	PRINCIPAL
7	7.5475921	77.556168	PRINCIPAL
8	8.0687153	78.136088	PRINCIPAL
9	8.558165	78.647613	PRINCIPAL
10	9.021098	79.105188	PRINCIPAL
15	11.048543	80.866101	PRINCIPAL
25	14.263608	83.084588	PRINCIPAL

Tabla 7.5: CÁLCULO DEL CAMPO ELÉCTRICO EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA ISOTRÓPICA RADIADA EFECTIVA.

distancia = 1.71 km @ Sur-este			
PIRE [W]	Eo [mV/m]	Eo[dBu]	GRADO DE SERVICIO
1	3.2030559	70.11129	GRADO B
1.23	3.5523608	71.010341	GRADO A
2	4.5298051	73.12159	GRADO A
3	5.5478555	74.882503	GRADO A
4	6.4061118	76.13189	GRADO A
5	7.1622507	77.10099	PRINCIPAL
6	7.8458526	77.892803	PRINCIPAL
7	8.4744893	78.562271	PRINCIPAL
8	9.0596102	79.14219	PRINCIPAL
9	9.6091677	79.653715	PRINCIPAL
10	10.128952	80.11129	PRINCIPAL
15	12.405382	81.872203	PRINCIPAL
25	16.015279	84.09069	PRINCIPAL

Tabla 7.5 (continuación): CÁLCULO DEL CAMPO ELÉCTRICO EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA ISOTRÓPICA RADIADA EFECTIVA.

distancia = 1.56 km @ Nordeste			
PIRE [W]	Eo [mV/m]	Eo[dBu]	GRADO DE SERVICIO
1	3.511042	70.908721	GRADO A
1.025	3.5546591	71.015959	GRADO A
2	4.9653633	73.919021	GRADO A
3	6.0813032	75.679933	GRADO A
3.5	6.5685582	76.349401	GRADO A
4.07	7.0832608	77.004665	PRINCIPAL
5	7.8509287	77.898421	PRINCIPAL
6	8.6002615	78.690233	PRINCIPAL
7	9.2893441	79.359701	PRINCIPAL
8	9.9307265	79.93962	PRINCIPAL
9	10.533126	80.451146	PRINCIPAL
10	11.10289	80.908721	PRINCIPAL
15	13.598207	82.669633	PRINCIPAL
25	17.55521	84.888121	PRINCIPAL

Tabla 7.5 (continuación): CÁLCULO DEL CAMPO ELÉCTRICO EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA ISOTRÓPICA RADIADA EFECTIVA.

Así pues, analizando las tablas 7.5, vemos que para tener una buena calidad de señal sería necesario solamente un transmisor de 6 watts, pero hay que recordar que estos cálculos no toman en consideración las pérdidas debido a la línea de transmisión, acoplamiento, reflexión del terreno, lluvia, etc., por lo que se hace es elegir un valor mucho mayor de potencia, de tal forma que al considerar las respectivas pérdidas que se involucran no se vean reflejadas en una disminución severa de la señal.

De esta manera, tentativamente escogeríamos el nivel de 25 watts, pero considerando factores de tipo económicos se prefiere un nivel que sea por lo menos el doble del primer nivel de potencia en que se obtiene señal tipo principal para cada uno de los tres casos, y de acuerdo a eso obtenemos un nivel promedio de 10 watts y nuevamente estaríamos tentados por un nivel superior de 15 watts, pero como no existen transmisores de esta capacidad en el mercado, entonces se decide en utilizar un transmisor de 10 watts de capacidad nominal. Por tanto.

Potencia del transmisor $P_{tx} = 10 \text{ watts} = 10 \text{ dBw}$

7.3.2.2 SELECCIÓN DEL SISTEMA RADIANTE

Ahora bien, después de ser elegido el nivel de potencia para nuestro transmisor, lo siguiente es determinar las características del sistema radiante

que utilizaremos para cubrir a la ciudad. Para realizar esto utilizamos los perfiles topográficos de los radiales que se muestran en los gráficos 7.4 a 7.11.

Pero preliminarmente necesitaremos establecer la altura a la cual estará ubicada el sistema radiador sobre el nivel del terreno del sitio de transmisión. Para esto se considera que la mínima altura que el sistema radiante debe tener, es de 10 veces la longitud de onda de operación, para el caso nuestro el de la portadora de video, es decir.

$$h_{\min} = 10\lambda \text{ , donde } \lambda = 1.51 \text{ m}$$

Entonces, **$h_{\min} = 15.1$** metros sobre el terreno del sitio de transmisión.

Pero considerando también el terreno, la ubicación y la altura de la comunidad principal a servir, de manera que se logre cubrir toda la zona de interés y sus cercanías para lograr un buen el alcance de la señal y que nuestro sistema se encamine junto con el crecimiento de la ciudad. Hemos decidido colocar nuestro sistema radiante a una altura de 24 metros sobre el suelo del sitio de transmisión. Por lo tanto.

Altura del sistema radiante: 24 metros (sobre el terreno)

Si la altura del terreno del lugar de transmisión es 6 metros sobre el nivel del mar y la altura del sistema radiante será de 24 metros, entonces la altura total sobre el nivel del mar del sistema radiador será de 30 metros.

- **Cálculo de la ganancia del sistema radiante:**

Ya establecido la altura del sistema radiante, lo siguiente es determinar la ganancia teórica del mismo para poder obtener los niveles de señal que deseamos en la comunidad a servir.

Recordemos que la potencia de recepción de una antena está dada por:

$$Pr[dBw] = E[dBu] - 20 \log f[Mhz] - 105.1$$

$$Pr[dBw] = Ptx[dBw] + Gtx[dBi] - Lo[dB]$$

Y las pérdidas por espacio libre son:

$$Lo[dB] = 32.44 + 20 \log f[Mhz] + 20 \log d[km]$$

Donde E[dBu] es el nivel de señal deseado al sitio de interés a una distancia d[km] desde el lugar de transmisión. Ptx es la potencia a la entrada de la

antena de ganancia G_{tx} y f es la frecuencia de operación de la portadora de la señal.

Si consideramos que las pérdidas de la línea de transmisión, entre el transmisor y la antena, son despreciables para efecto de cálculos teóricos, tenemos entonces que la potencia de entrada a la antena es igual a la potencia del transmisor. Ahora, teniendo en cuenta lo anterior, para cada uno de los tres radiales en consideración tendremos:

- **$d = 1.56\text{km @ } 45^\circ \text{ Nordeste:}$**

$$L_o = 32.44 + 20 \log 199.25 + 20 \log 1.56 = 82.29 \text{ dB}$$

$$P_r = 80.91 - 20 \log 199.25 - 105.1 = -70.2 \text{ dBw}$$

$$G_{tx} = P_r - P_{tx} + L_o = -70.2 - 10 + 82.29$$

$$\mathbf{G_{tx} = 2.11 \text{ dBi}}$$

- **$d = 1.92\text{km @ } 0^\circ \text{ Este:}$**

$$L_o = 32.44 + 20 \log 199.25 + 20 \log 1.92 = 84.094 \text{ dB}$$

$$P_r = 79.11 - 20 \log 199.25 - 105.1 = -71.98 \text{ dBw}$$

$$G_{tx} = P_r - P_{tx} + L_o = -71.98 - 10 + 84.094$$

$$G_{tx} = 2.12 \text{ dBi}$$

- **d = 1.71km @ 315° Sur- este:**

$$L_o = 32.44 + 20 \log 199.25 + 20 \log 1.71 = 83.088 \text{ dB}$$

$$P_r = 80.11 - 20 \log 199.25 - 105.1 = -70.98 \text{ dBw}$$

$$G_{tx} = P_r - P_{tx} + L_o = -70.98 - 10 + 83.088$$

$$G_{tx} = 2.11 \text{ dBi}$$

Obteniendo el promedio de las tres ganancias obtenidas, finalmente tenemos.

$$G_{tx} = (2.11+2.11+2.11) / 3$$

Ganancia estimada del sistema radiante: 2.11 dBi

Ahora hay que considerar que en la práctica los sistemas de radiodifusión y televisión sobre todo, se utilizan antenas derivadas del dipolo de $\lambda/2$. por lo

tanto la ganancia teórica del sistema radiante requerido deberá ser referido al dipolo de $\lambda/2$, así:

$$G_{tx} = 2.11 + 2.15 = 4.26 \text{ dBd.}$$

Ganancia teórica del sistema radiante requerido: 4.26 dBd

Con este valor, consultamos a los diferentes fabricantes de antenas para transmisión televisiva en VHF, tales como Jampro, Rymsa, entre otros.

Y de acuerdo a ellos, el sistema que necesitamos corresponde a un arreglo de 2 antenas tipo paneles para ser colocados en un mismo nivel de piso, llamado también bay.

Tenemos ahora que escoger la propuesta de cualquier fabricante, nosotros elegimos a Rymsa como proveedor de nuestro sistema por su buena propuesta técnica y económica.

De acuerdo con RYMSA, el sistema que propone tiene las siguientes características técnicas principales:

Cantidad de paneles del sistema: 2

Ganancia neta del sistema @ 199.25 Mhz: 3.94 dBd.

Ancho del haz de elevación: 60°

Relleno de nulos (null fill): ninguno

Inclinación del haz vertical: ninguna

Pérdidas (incluye distribuidor, 5 m de cable heliax 1/2"): 0.2 dB

Los diagramas de los patrones de radiación acimutal y de elevación de este arreglo son proporcionados por Ryma y se muestran en las figuras 7.12 y 7.13.

A.S.: ESPOL
SISTEMA RADIANTE C/11
Frequency: 199.25 MHz
Elevation: 0 °
Gain: 3.94 dBd

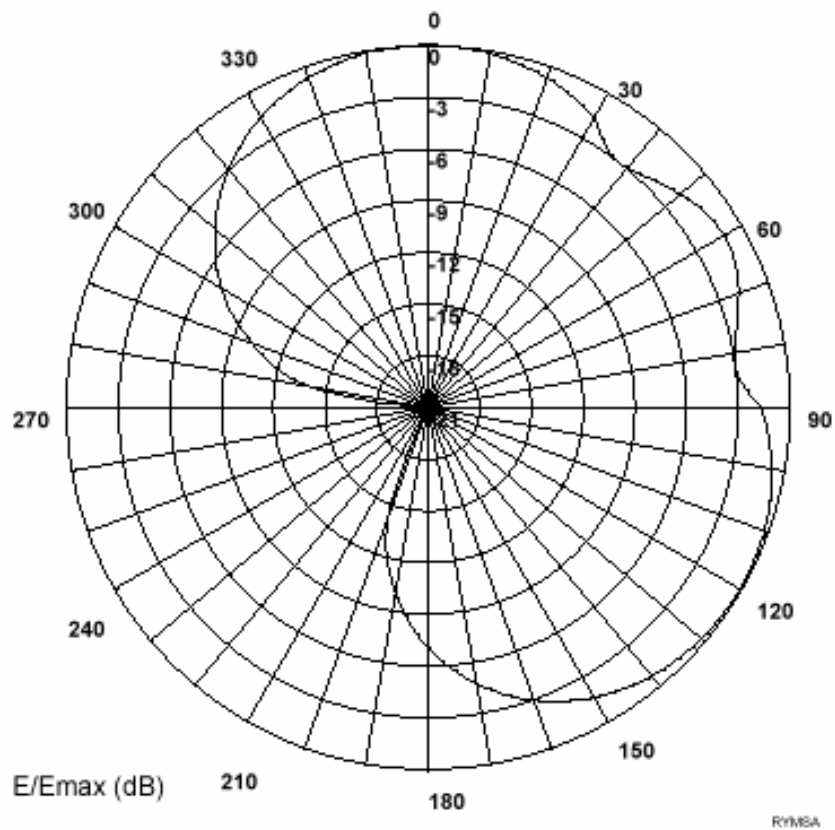


Figura 7.12: PATRON DE RADIACIÓN ACIMUTAL

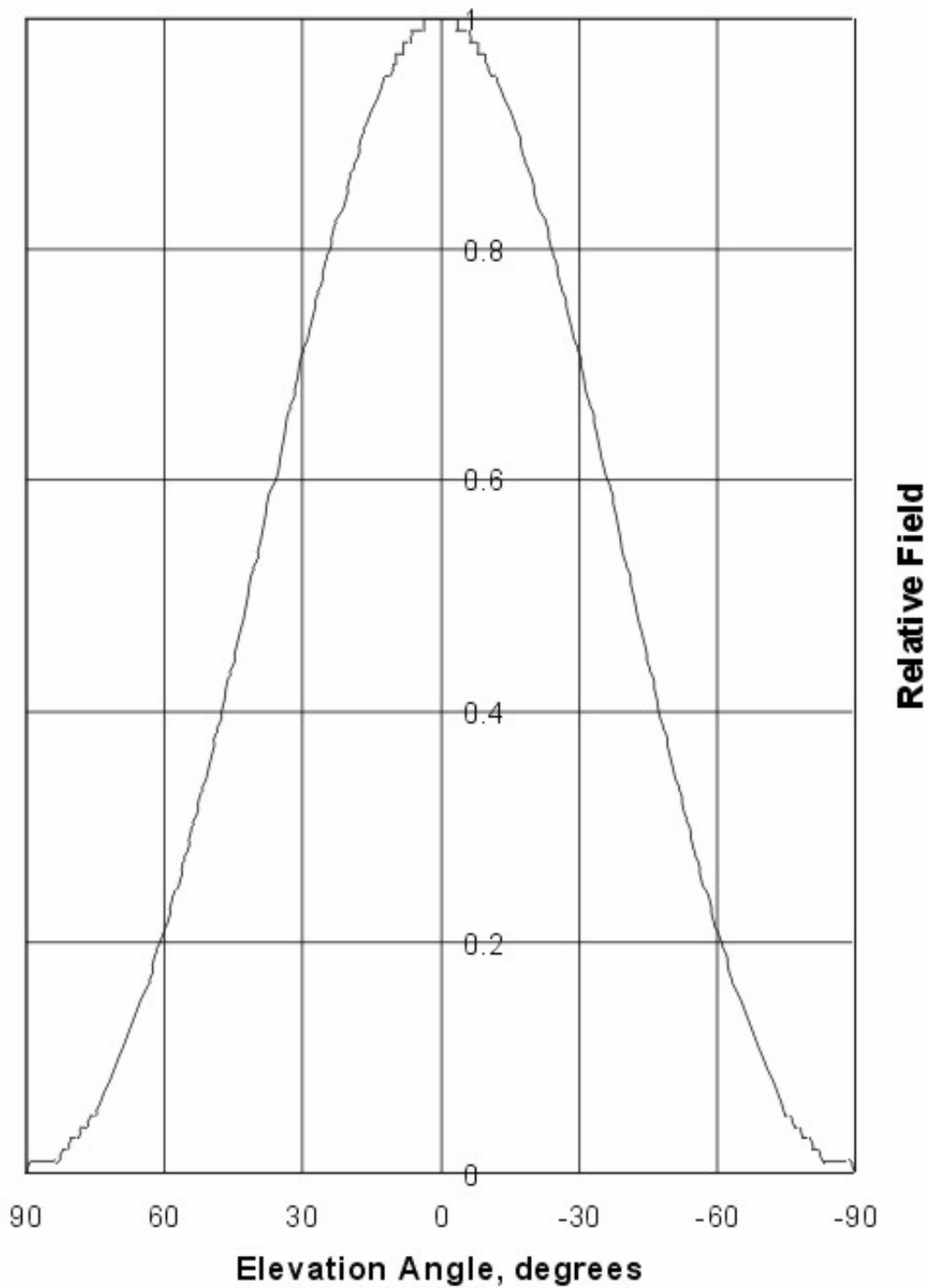


Figura 7.13: PATRON DE RADIACIÓN VERTICAL (ELEVACIÓN)

Elevation Pattern Tabulation																			
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90										
0.0 2	0.0 2	0.0 1	0.0 1	0.0 1	0.0 1	0.0 1	0.0 1	0.0 1	0										
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
0.2	0.1 9	0.1 7	0.1 6	0.1 5	0.1 4	0.1 3	0.1 2	0.1 1	0.1	0.0 9	0.0 8	0.0 7	0.0 6	0.0 5	0.0 5	0.0 4	0.0 4	0.0 3	0.0 3
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
0.5 2	0.5	0.4 8	0.4 6	0.4 4	0.4 3	0.4 1	0.3 9	0.3 8	0.3 6	0.3 4	0.3 3	0.3 1	0.3	0.2 8	0.2 7	0.2 5	0.2 4	0.2 2	0.2 1
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
0.8 4	0.8 3	0.8 2	0.8	0.7 9	0.7 7	0.7 6	0.7 4	0.7 2	0.7 1	0.6 9	0.6 7	0.6 6	0.6 4	0.6 2	0.6	0.5 9	0.5 7	0.5 5	0.5 3
8.2	8.4	8.6	8.8	9	9.2	9.4	9.6	9.8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.9 7	0.9 7	0.9 7	0.9 7	0.9 7	0.9 7	0.9 7	0.9 7	0.9 6	0.9 6	0.9 5	0.9 5	0.9 4	0.9 3	0.9 2	0.9 1	0.9	0.8 8	0.8 7	0.8 6
4.2	4.4	4.6	4.8	5	5.2	5.4	5.6	5.8	6	6.2	6.4	6.6	6.8	7	7.2	7.4	7.6	7.8	8
0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 8	0.9 8	0.9 8	0.9 8	0.9 8	0.9 8	0.9 8	0.9 8	0.9 8
0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.6	3.8	4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9 9	0.9 9

Tabla 7.6: TABULACIÓN DEL PATRÓN DE ELEVACIÓN PARA 1 BAY, SIN BEAM TILT, NI RELLENO DE NULOS.

0																			
1																			
-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8	-2	-2.2	-2.4	-2.6	-2.8	-3	-3.2	-3.4	-3.6	-3.8	-4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9 9	0.9 9
-4.2	-4.4	-4.6	-4.8	-5	-5.2	-5.4	-5.6	-5.8	-6	-6.2	-6.4	-6.6	-6.8	-7	-7.2	-7.4	-7.6	-7.8	-8
0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 9	0.9 8	0.9 8	0.9 8	0.9 8	0.9 8	0.9 8	0.9 8	0.9 8	0.9 8
-8.2	-8.4	-8.6	-8.8	-9	-9.2	-9.4	-9.6	-9.8	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20
0.9 7	0.9 7	0.9 7	0.9 7	0.9 7	0.9 7	0.9 7	0.9 7	0.9 6	0.9 6	0.9 5	0.9 5	0.9 4	0.9 3	0.9 2	0.9 1	0.9 0.9	0.8 8	0.8 7	0.8 6
-21	-22	-23	-24	-25	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-32	-33	-34	-35	-36	-37	-38	-39	-40
0.8 4	0.8 3	0.8 2	0.8 0.8	0.7 9	0.7 7	0.7 6	0.7 4	0.7 2	0.7 1	0.6 9	0.6 7	0.6 6	0.6 4	0.6 2	0.6 0.6	0.5 9	0.5 7	0.5 5	0.5 3
-41	-42	-43	-44	-45	-46	-47	-48	-49	-50	-51	-52	-53	-54	-55	-56	-57	-58	-59	-60
0.5 2	0.5 0.5	0.4 8	0.4 6	0.4 4	0.4 3	0.4 1	0.3 9	0.3 8	0.3 6	0.3 4	0.3 3	0.3 1	0.3 0.3	0.2 8	0.2 7	0.2 5	0.2 4	0.2 2	0.2 1
-61	-62	-63	-64	-65	-66	-67	-68	-69	-70	-71	-72	-73	-74	-75	-76	-77	-78	-79	-80
0.2	0.1 9	0.1 7	0.1 6	0.1 5	0.1 4	0.1 3	0.1 2	0.1 1	0.1 0.1	0.0 9	0.0 8	0.0 7	0.0 6	0.0 5	0.0 5	0.0 4	0.0 4	0.0 3	0.0 3
-81	-82	-83	-84	-85	-86	-87	-88	-89	-90										
0.0 2	0.0 2	0.0 1	0.0 1	0.0 1	0.0 1	0.0 1	0.0 1	0.0 1	0										

**Tabla 7.6 (continuación): TABULACIÓN DEL PATRÓN DE ELEVACIÓN PARA 1 BAY,
SIN BEAM TILT, NI RELLENO DE NULOS.**

Lo que se necesita determinar ahora es lo siguiente:

- Comprobar si el sistema propuesto logrará cubrir a la comunidad de interés.
- Si se necesitará pedir un sistema con relleno de nulos e inclinación del haz de elevación.

Para lograr determinar estos puntos, recurrimos nuevamente a los 8 radiales de la figura 7.3, de esta figura observamos que el mínimo ancho de haz acimutal que se requiere para cubrir toda la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno es de 90° , porque es la separación entre los dos radiales más alejados entre sí y que cubren a la comunidad a servir, nos referimos al ángulo entre los radiales nordeste @ 45° y sureste @ -45° (315°), recordemos que la referencia es el Este @ 0° .

Ahora bien, analizando el patrón acimutal del fabricante, observamos que el ancho del haz acimutal es de 200° (a -3 dB) y 230° (a -6 dB) que es mucho mayor que el mínimo requerido de 90° , entonces podremos estar seguros de que acimutalmente la ciudad si se cubre completamente.

Para comprobar si el haz de elevación logra cubrir la ciudad y que ningún nulo caiga sobre la misma, analizamos de cada uno de los radiales, de la

figura 7.3, sus respectivos perfiles topográficos; obteniendo también el promedio del terreno para calcular la altura efectiva de la antena en cada radial y después presentar la altura efectiva neta de la antena sobre el terreno y comprobar que sea mayor que la altura mínima requerida.

Para lograr esto usamos los datos de las tablas 7.7 a 7.14 para cada radial, y así obtenemos la altura del terreno a determinadas distancias a partir del lugar de transmisión hasta ciertos puntos ubicados en la periferia de la ciudad, para luego proceder a graficar cada perfil topográfico como se aprecian en las figuras 7.4 a 7.11.

En dichas tablas, se observa que la altura de la curvatura de la tierra, $Y(x)$ [m], desde el sitio de transmisión es insignificante, es por eso que los gráficos de perfil no presentan la característica forma curva. La altura de la curvatura terrestre se obtiene de la siguiente forma:

$$Y(x)[m] = \frac{(D[km])^2}{12.74} x(1-x)$$

$$x = \frac{d_i}{D}, \text{ Donde } d_i \text{ y } D \text{ están en las mismas unidades.}$$

Hi: altura sobre el nivel del mar a determinada distancia d_i .

d_i : distancia desde el sitio de transmisión al punto de altura Hi.

di[m]	Hi[m]	x=di/D D=510	Y(x)[m]
0	30	0	0
3	30	0.005882353	0.000119388
5	6	0.009803922	0.000198195
30	6	0.058823529	0.001130298
60	6	0.117647059	0.002119309
90	6	0.176470588	0.002967033
120	6	0.235294118	0.003673469
150	6	0.294117647	0.004238619
180	6	0.352941176	0.00466248
210	4	0.411764706	0.004945055
240	2	0.470588235	0.005086342
270	0	0.529411765	0.005086342
300	0	0.588235294	0.004945055
330	0	0.647058824	0.00466248
360	0	0.705882353	0.004238619
390	0	0.764705882	0.003673469
420	0	0.823529412	0.002967033
450	0	0.882352941	0.002119309
480	0	0.941176471	0.001130298
510	0	1	0

Tabla 7.7: TABULACIÓN DEL PERFIL TOPOGRÁFICO NORTE @ 90°

di[m]	Hi[m]	x=di/D D=3000	Y(x)[m]
0	30	0	0
3	30	0.001	0.00070573
5	6	0.001666667	0.001175432
30	6	0.01	0.006993721
300	6	0.1	0.063579278
600	6	0.2	0.113029827
900	6	0.3	0.148351648
1200	6	0.4	0.169544741
1500	6	0.5	0.176609105
1800	6	0.6	0.169544741
2100	6	0.7	0.148351648
2400	0	0.8	0.113029827
2700	0	0.9	0.063579278
3000	0	1	0

Tabla 7.8: TABULACIÓN DEL PERFIL TOPOGRÁFICO SUR @ 270°

di [m]	Hi[m]	x=di/D D=1920	Y(x)[m]
0	30	0	0
3	30	0.0015625	0.000451413
5	6	0.002604167	0.00075157
30	6	0.015625	0.004450549
300	6	0.15625	0.038147567
600	6	0.3125	0.062166405
900	10	0.46875	0.072056515
1050	20	0.546875	0.071703297
1110	25	0.578125	0.070572998
1200	30	0.625	0.067817896
1365	40	0.7109375	0.059464286
1920	60	1	0

Tabla 7.9: TABULACIÓN DEL PERFIL TOPOGRÁFICO ESTE @ 0°

di[m]	Hi[m]	x=di/D D=1200	Y(x)[m]
0	30	0	0
3	30	0.0025	0.000281868
5	6	0.004166667	0.000468995
30	6	0.025	0.002755102
60	6	0.05	0.005368917
90	6	0.075	0.007841444
120	6	0.1	0.010172684
150	6	0.125	0.012362637
180	6	0.15	0.014411303
210	6	0.175	0.016318681
240	6	0.2	0.018084772
270	6	0.225	0.019709576
300	6	0.25	0.021193093
330	6	0.275	0.022535322
360	6	0.3	0.023736264
390	6	0.325	0.024795918
420	6	0.35	0.025714286
450	3	0.375	0.026491366
480	0	0.4	0.027127159
600	0	0.5	0.028257457
900	0	0.75	0.021193093
1200	0	1	0

Tabla 7.10: TABULACIÓN DEL PERFIL TOPOGRÁFICO OESTE @ 180°

di[m]	Hi[m]	x=di/D D=1560	Y(x)[m]
0	30	0	0
3	30	0.001923077	0.000366641
5	6	0.003205128	0.000610283
20	6	0.012820513	0.002417582
30	6	0.019230769	0.003602826
60	6	0.038461538	0.007064364
90	6	0.057692308	0.010384615
120	6	0.076923077	0.013563579
150	6	0.096153846	0.016601256
180	6	0.115384615	0.019497645
210	6	0.134615385	0.022252747
240	6	0.153846154	0.024866562
270	6	0.173076923	0.027339089
300	6	0.192307692	0.02967033
330	2	0.211538462	0.031860283
360	0	0.230769231	0.033908948
450	0	0.288461538	0.039207221
600	0	0.384615385	0.045211931
900	0	0.576923077	0.046624804
1140	0	0.730769231	0.037582418
1170	2	0.75	0.035816327
1200	6	0.769230769	0.033908948
1275	10	0.817307692	0.02852237
1470	20	0.942307692	0.010384615
1560	40	1	0

Tabla 7.11: TABULACIÓN DEL PERFIL TOPOGRÁFICO NORDESTE @ 45°

di[m]	Hi[m]	x=di/D D=1710	Y(x)[m]
0	30	0	0
3	30	0.001754386	0.000401962
5	6	0.002923977	0.000669152
30	6	0.01754386	0.003956044
300	6	0.175438596	0.033202512
600	6	0.350877193	0.052276295
900	6	0.526315789	0.05722135
1230	20	0.719298246	0.046342229
1710	40	1	0

Tabla 7.12: TABULACIÓN DEL PERFIL TOPOGRÁFICO SUR-ESTE @ 315°

di[m]	Hi[m]	x=di/D D=1200	Y(x)[m]
0	30	0	0
3	30	0.0025	0.000281868
5	6	0.004166667	0.000468995
30	6	0.025	0.002755102
60	6	0.05	0.005368917
90	6	0.075	0.007841444
120	6	0.1	0.010172684
150	6	0.125	0.012362637
180	6	0.15	0.014411303
210	6	0.175	0.016318681
240	6	0.2	0.018084772
270	4	0.225	0.019709576
300	2	0.25	0.021193093
330	0	0.275	0.022535322
600	0	0.5	0.028257457
900	0	0.75	0.021193093
1200	0	1	0

Tabla 7.13: TABULACIÓN DEL PERFIL TOPOGRÁFICO NOROESTE @ 135°

Di[m]	Hi[m]	x=di/D D=1500	Y(x)[m]
0	30	0	0
3	30	0.002	0.000352512
5	6	0.003333333	0.000586735
30	6	0.02	0.003461538
300	6	0.2	0.028257457
600	6	0.4	0.042386185
840	6	0.56	0.043516484
900	3	0.6	0.042386185
1020	3	0.68	0.038430141
1050	0	0.7	0.037087912
1200	0	0.8	0.028257457
1500	0	1	0

Tabla 7.14: TABULACIÓN DEL PERFIL TOPOGRÁFICO SUROESTE @ 225°

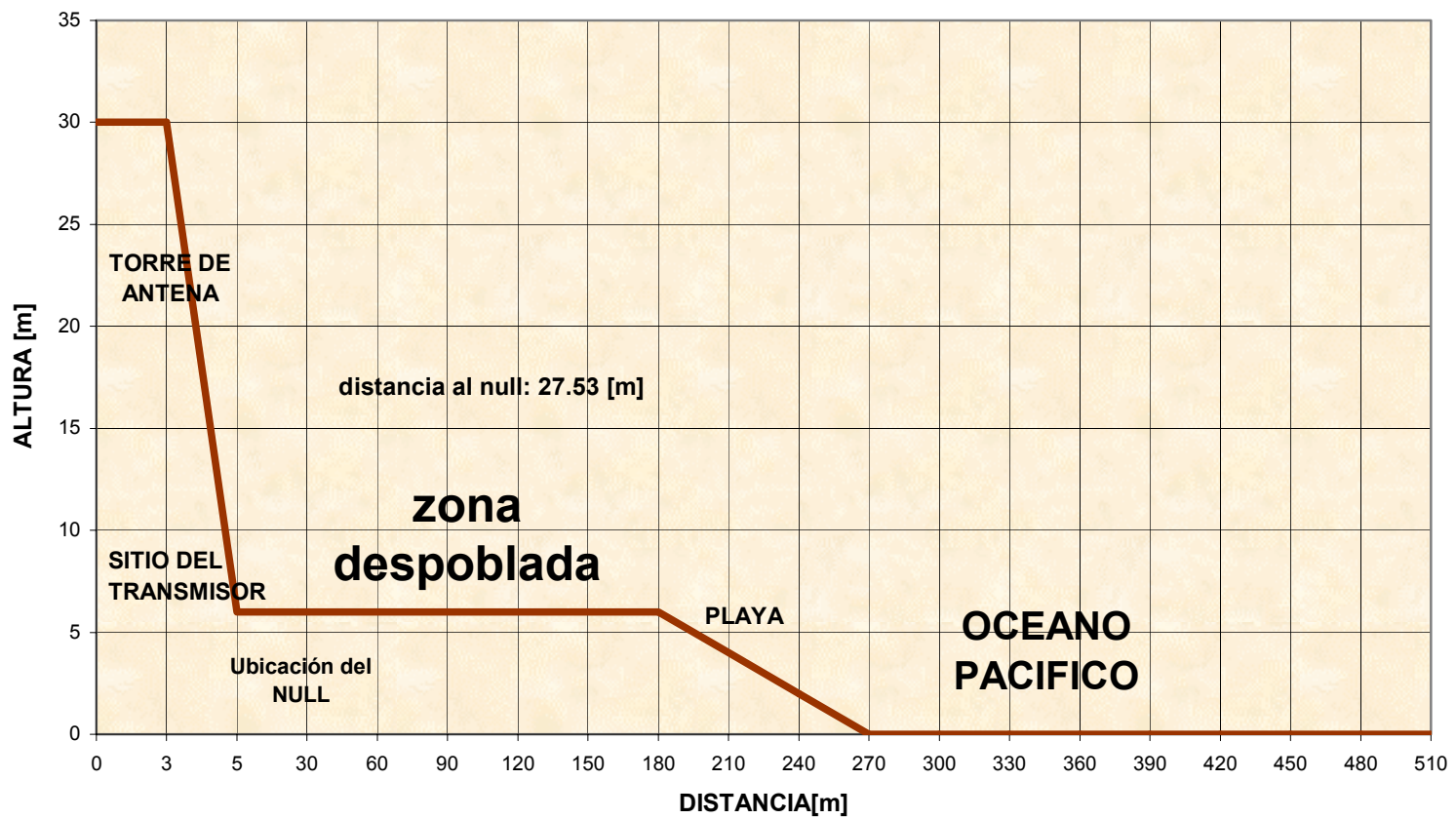


Figura 7.6: PERFIL TOPOGRÁFICO NORTE @ 90°

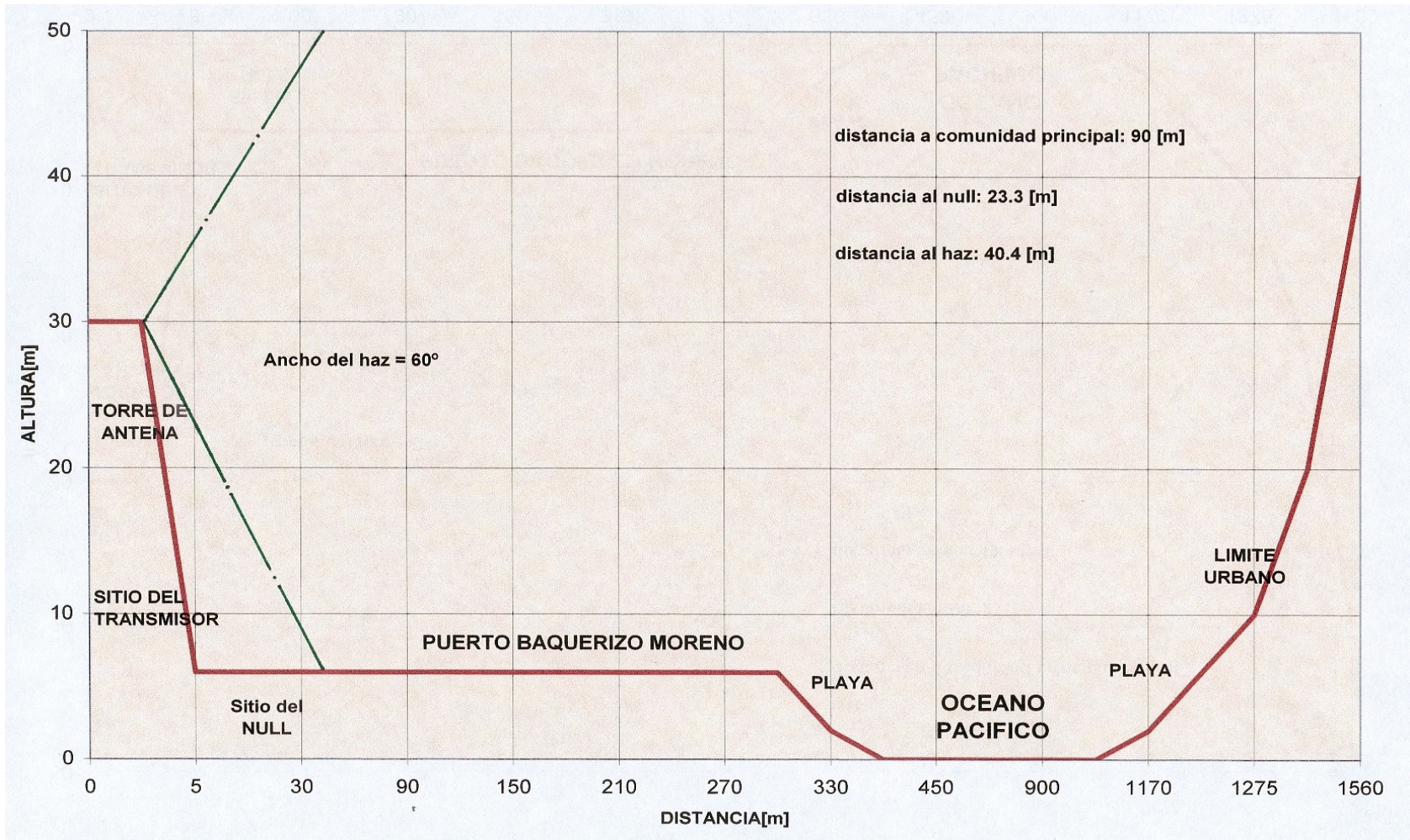


Figura 7.7: PERFIL TOPOGRÁFICO NORESTE @ 45°

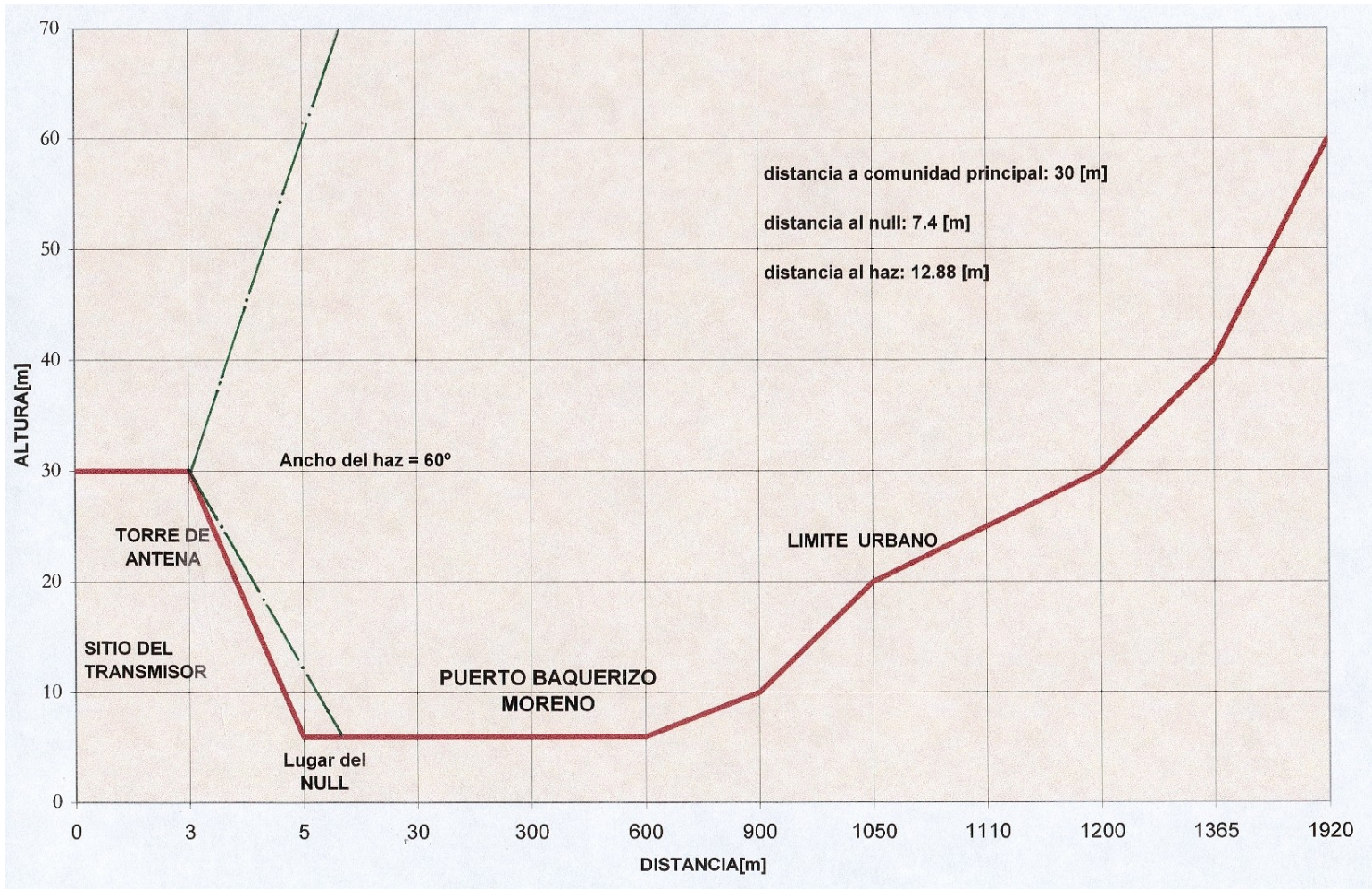
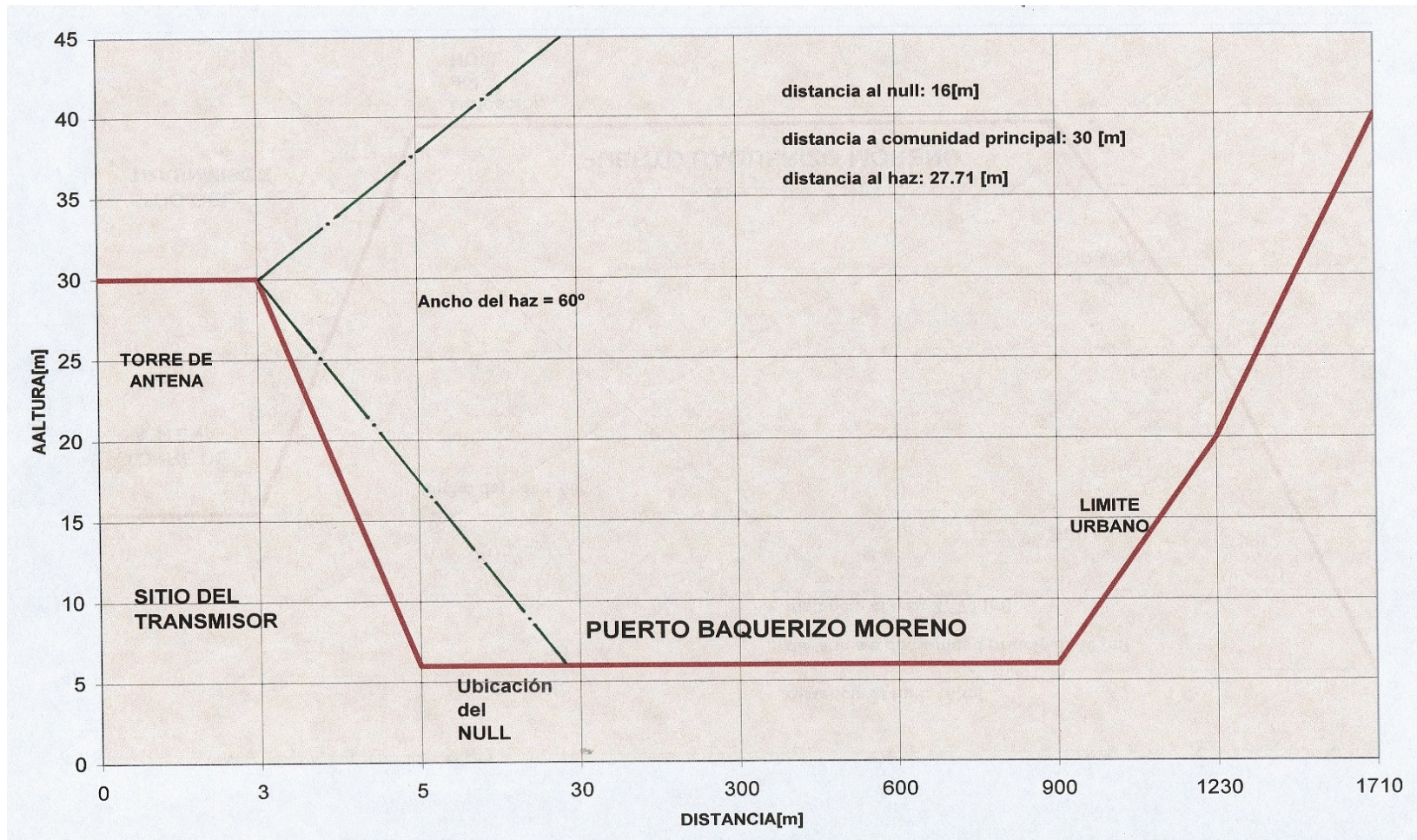


Figura 7.8: PERFIL TOPOGRÁFICO ESTE @ 0°



1 Figura 7.9: PERFIL TOPOGRÁFICO SURESTE @ 315°

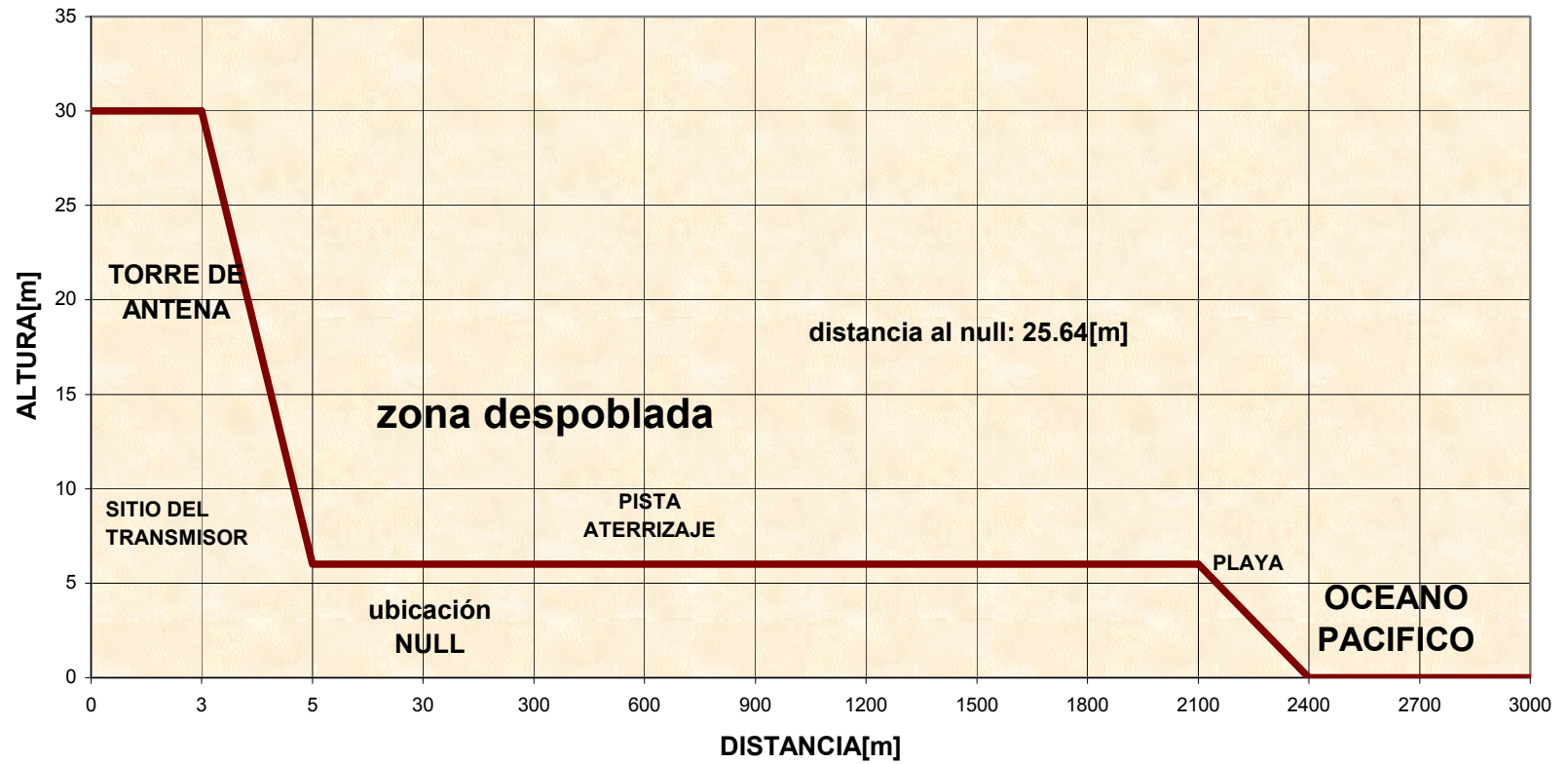


Figura 7.10: PERFIL TOPOGRÁFICO SUR @ 270°

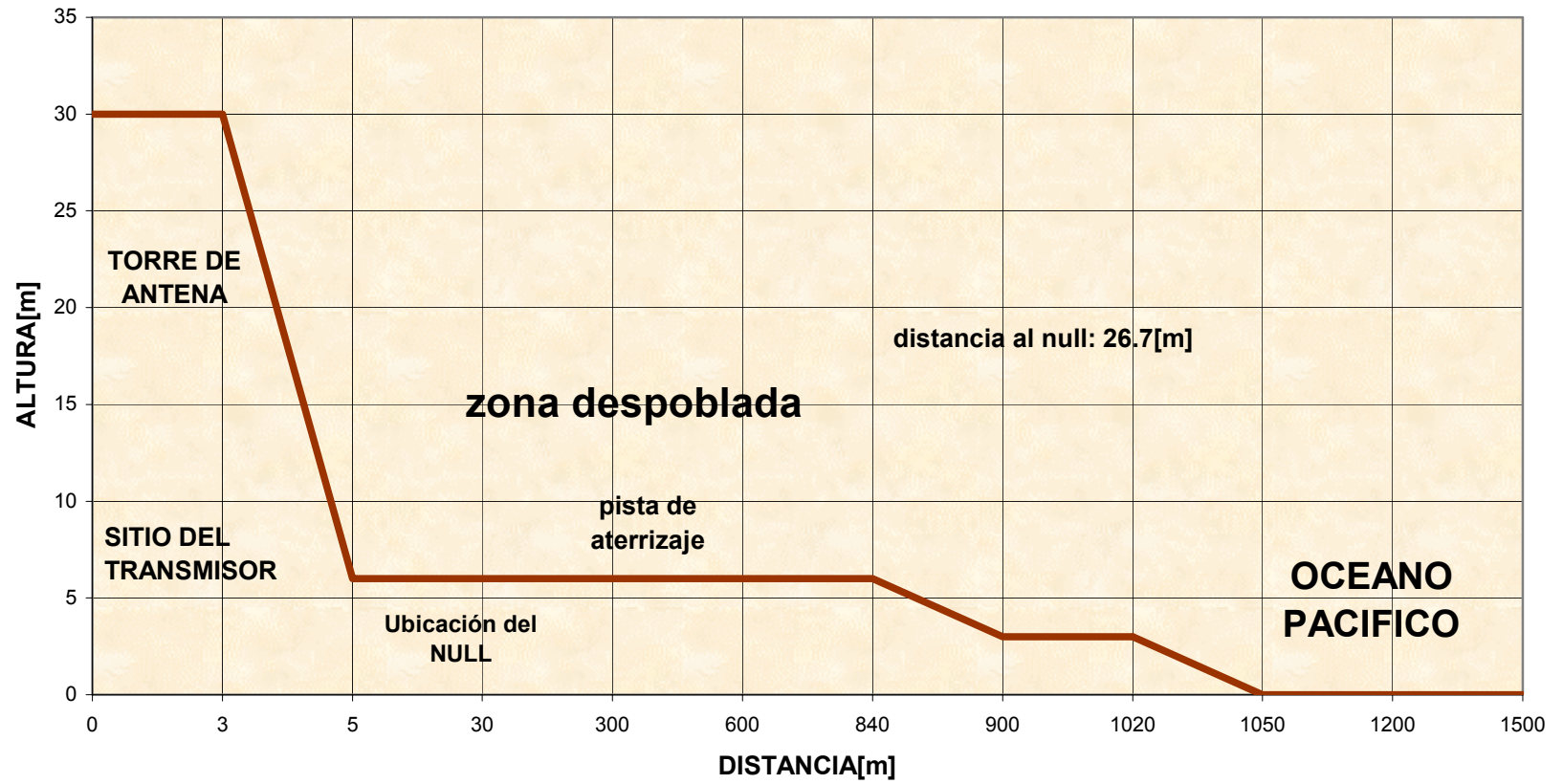


Figura 7.11: PERFIL TOPOGRÁFICO SUROESTE @ 225°

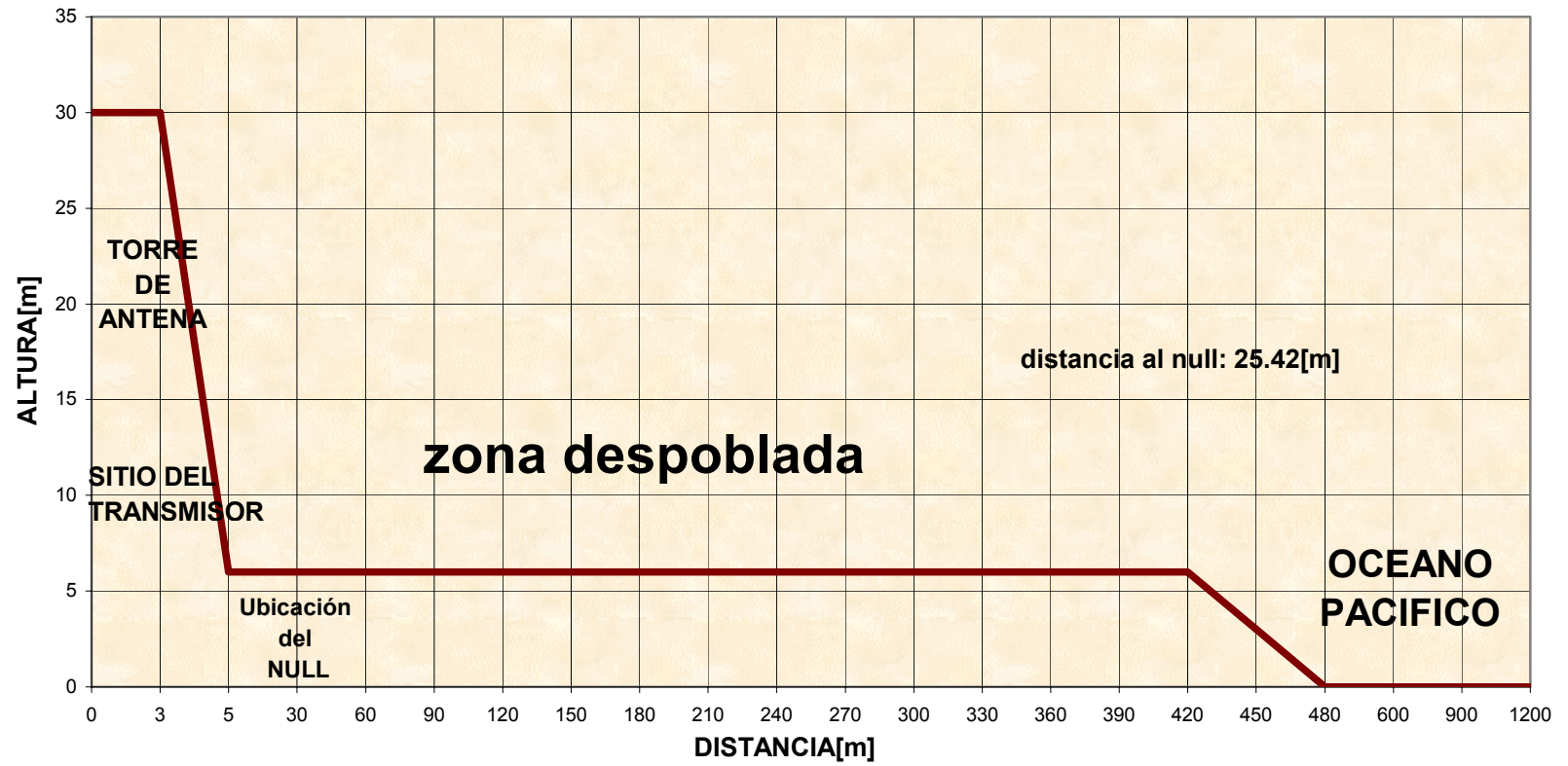


Figura 7.12: PERFIL TOPOGRÁFICO OESTE @ 180°

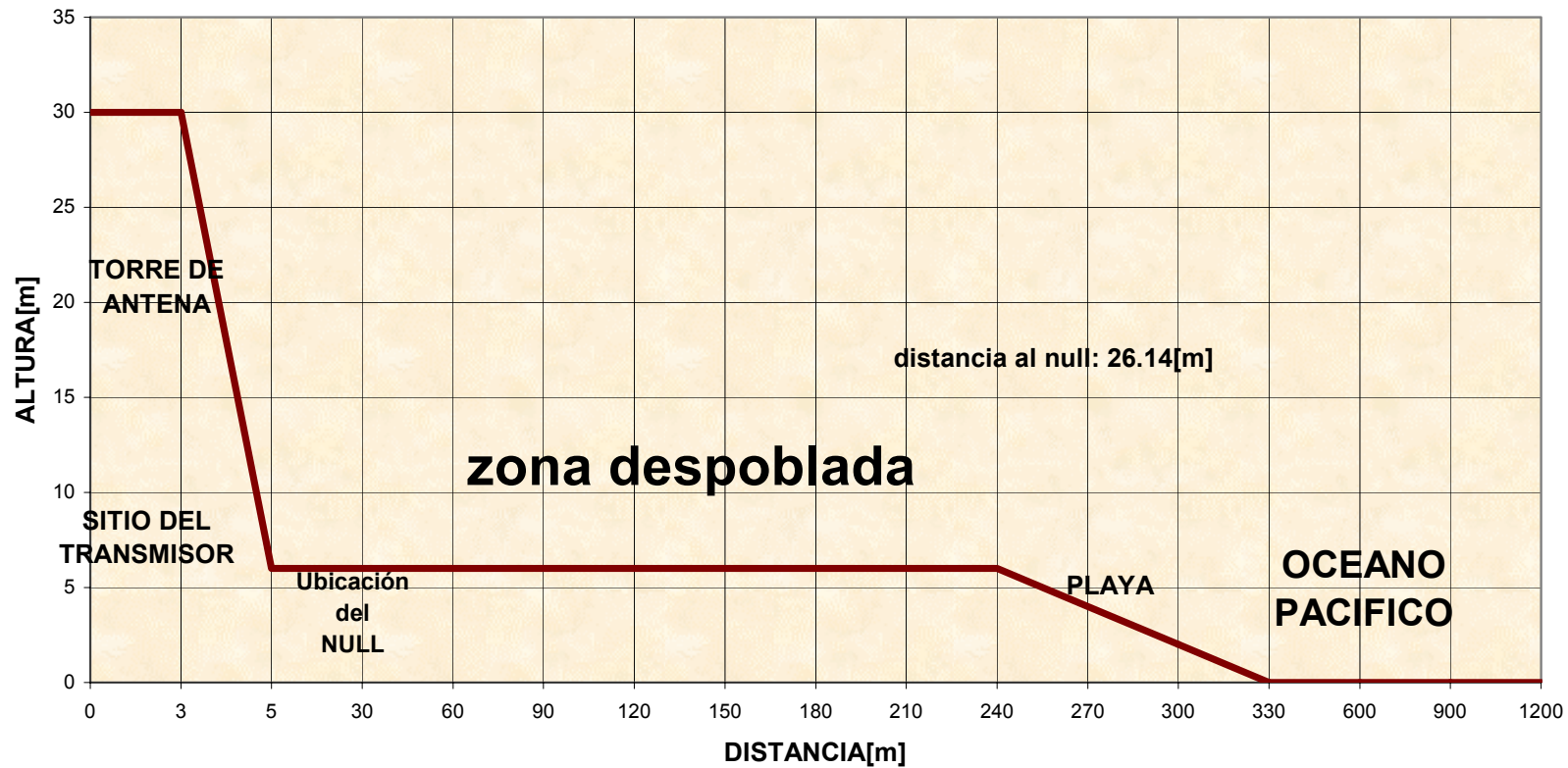


Figura 7.13: PERFIL TOPOGRÁFICO NOROESTE @ 135°

Una vez tabulados los valores de cada perfil, procedemos a calcular la altura efectiva del sistema radiante en cada radial, para luego obtener la altura efectiva neta del sistema radiante sobre el área de cobertura.

Las alturas efectivas por radial y la altura efectiva total las calculamos así:

ALTURA EFECTIVA [m] por radial = altura del sistema radiante – altura promedio del terreno.

ALTURA EFECTIVA TOTAL [m] = suma de alturas efectivas / No de perfiles

En la tabla 7.15 mostramos los valores de las alturas efectivas por cada radial

PERFIL @	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
ALTURA PROMEDIO DEL TERRENO[m]	22.556	6.6667	2.471	3.857	4.579	3.333	4.364	14
ALTURA EFECTIVA [m]	7.4444	23.333	27.53	26.14	25.42	26.67	25.64	16

Tabla 7.15: ALTURA EFECTIVA POR CADA RADIAL.

Altura del sistema radiante sobre el nivel del mar: 30 [m]

Entonces la altura neta efectiva del sistema radiante será:

ALTURA EFECTIVA TOTAL: 22.27 [m]

Si comparamos esta altura con la mínima requerida de 15.1m, vemos que la elección de la altura de 24m que inicialmente decidimos está correcta.

Ahora que tenemos las alturas efectivas de cada radial, podemos calcular las distancias hacia el null desde el lugar de transmisión así como también determinaremos si el haz principal cubre a la ciudad. Para esto, analizaremos el patrón de radiación vertical que nos proporcionó Rymsa así como también los perfiles topográficos de las 7 figuras 7.5, 7.6 y 7.7. Por parte de Rymsa obtenemos la siguiente información:

Ancho del haz de elevación: 60°

Angulo del null: 90°

La distancia desde la base del sistema de antenas hacia el null, se obtiene de la siguiente forma:

$$D_n = \frac{H_e}{\text{sen}\alpha}$$

Donde α : ángulo del null

He: altura efectiva del radial en cuestión.

Como $\alpha = 90^\circ$, entonces la distancia al null será:

$$D_n = H_e$$

Por tanto, la distancia al null para cada radial será igual a la altura efectiva del sistema radiante del radial en cuestión. Lo siguiente es comparar esta distancia con la distancia hacia la comunidad principal para saber si el null cae dentro de la ciudad o no, es decir que si esta distancia es mayor que la distancia hacia la ciudad, entonces el nulo sí caerá dentro de la ciudad.

Ahora, para determinar si el haz principal cubre a la ciudad, nos ayudaremos nuevamente de los gráficos 7.5, 7.6 y 7.7, y también de la siguiente expresión⁸.

$$Dx = He \times \tan \theta$$

Donde:

Dx: distancia desde el lugar de transmisión hasta el punto donde cae el haz principal.

He: altura efectiva del sistema en el radial en cuestión.

θ : ancho del haz principal a -3 dB

Como $\theta = 60^\circ$, entonces: $Dx = He \times \tan 60^\circ$

⁷ Los demás perfiles no son de interés porque ninguno de ellos atraviesa la ciudad.

⁸ Esta expresión es la relación trigonométrica del triángulo rectángulo que se obtuvo de los gráficos de los perfiles.

Luego comparamos esta distancia D_x con la distancia hacia la comunidad principal, y si D_x es menor que la distancia hacia la ciudad, entonces significa que la ciudad sí es cubierta por el haz del sistema radiante.

A continuación tabulamos, para los radiales en consideración, los valores calculados de las respectivas distancias hacia el null y las distancias hacia el lugar donde cae el haz principal, para compararlas con la distancia desde el lugar de transmisión hacia la ciudad en cada radial.

Perfil	Este @ 0°	Nordeste @ 45°	Sur este @ 315°
Distancia hasta la ciudad	30 [m]	90 [m]	30 [m]
Distancia hasta el null	7.4 [m]	23.3 [m]	16 [m]
Distancia hasta el haz principal	12.88 [m]	40.4 [m]	27.71 [m]

Tabla 7.16: COMPARACIÓN ENTRE LA DISTANCIA HASTA EL NULL Y LA DISTANCIA HASTA EL HAZ PRINCIPAL CON LA DISTANCIA HASTA LA CIUDAD PRINCIPAL.

Analizando la tabla 7.16, obtenemos los siguientes resultados:

Como las distancias hasta el null son todas menores comparadas con la distancia hasta la comunidad principal, significa que el null del sistema radiante no cae dentro de la ciudad y por lo tanto no será necesario solicitar al fabricante un sistema con rellenos de null.

Las distancias hasta el lugar donde cae el haz principal, son todas menores en comparación con la distancia hasta la comunidad principal. Lo que significa que la ciudad sí es cubierta completamente por el haz principal del sistema radiante. Por tanto, no será necesario pedirle al fabricante que realice una inclinación electrónica del haz⁹.

- **Orientación del sistema radiante.**

De acuerdo a las recomendaciones del fabricante RYMSA, el sistema radiante deberá instalarse en una torre triangular como se ilustra en la figura 7.14.

Es importante resaltar que las caras que se utilicen para instalar los paneles radiantes deben tener el mismo ancho y deberán estar espaciadas entre sí a

⁹ Llamada también beam tilt.

60°, para de esta manera obtener el patrón de radiación horizontal que necesitamos para cubrir a la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno.

Además la torre deberá orientarse como lo indica la figura 7.14.

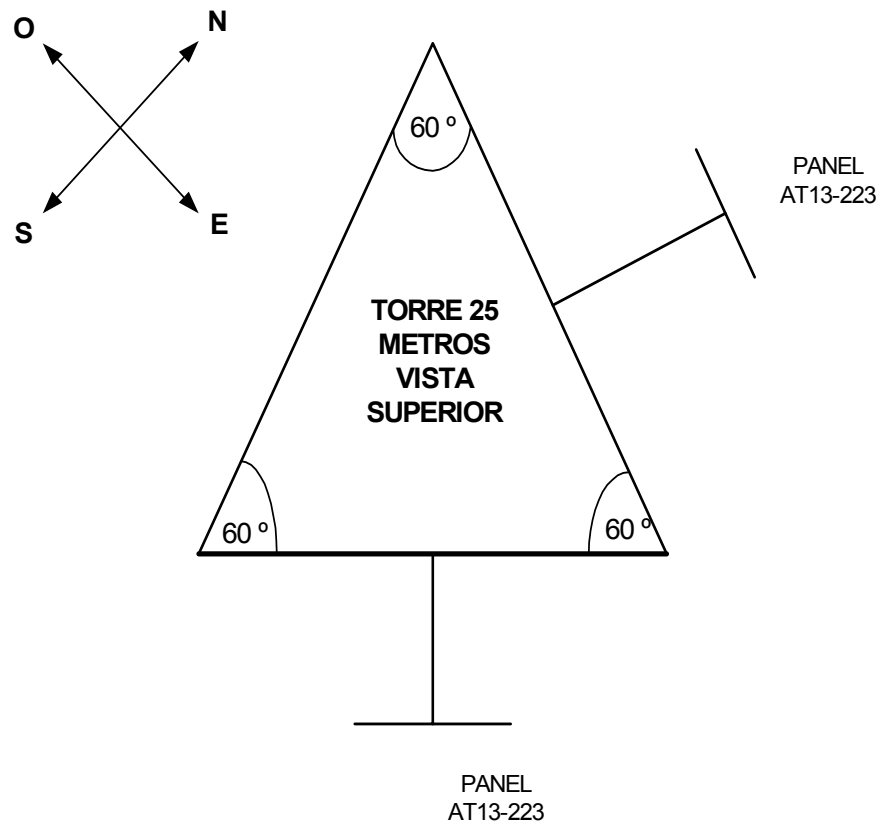


Figura 7.14: ORIENTACIÓN DEL SISTEMA RADIANTE

- **Características de la línea de transmisión.**

Ahora sí estamos en capacidad de escoger el tamaño de la línea de transmisión, la cual no depende sólo de la frecuencia de trabajo, sino también depende de la distancia entre la altura de la entrada del sistema radiante y la salida del transmisor, de tal forma que las pérdidas sean inferiores a 1dB y se logre minimizar gastos.

Considerando las pérdidas del sistema, proporcionadas por el fabricante, y estimando una longitud de cable de 24 metros, elegimos el cable heliax LCF12-50 de 1/2" de diámetro @ 50 ohms, cuya atenuación para nuestra frecuencia de trabajo, $f = 199.25$ Mhz, es de 3.08 dB/100m. Por tanto las perdidas por cable serán:

$$L_c = (3.08 \times 24) / 100 = 0.7392 \text{ dB}$$

PERDIDAS DEL CABLE PRINCIPAL: 0.7392 dB

- **Cálculo de la Potencia Efectiva Radiada de la Estación.**

Conociendo ya el valor de las pérdidas debido a la línea de transmisión principal, y las pérdidas del distribuidor y los cables que conectan las salidas del distribuidor con las antenas, podemos estimar el valor esperado de la ERP de la siguiente forma.

$$ERP = P_{tx} - L_c - L_{\text{adicionales}} + G_{tx}$$

$$ERP = 10 - 0.7392 - 0.2 + 3.94 = 13 \text{ [dBW]}$$

ERP = 20 [WATTS]

Entonces la potencia que transmitirá nuestra estación televisiva utilizando la capacidad nominal del transmisor será:

Potencia Efectiva Radiada (ERP) en la dirección de máxima radiación:

13 [dBW] = 20 [Watts]

- **Cálculo de los niveles de señal esperados.**

Ahora determinaremos los niveles de señal que recibirán los usuarios de Puerto Baquerizo Moreno cuando se utiliza la capacidad nominal del transmisor (10 vatios) y cuando se utilice solo el 50% de esta capacidad, para comprobar que estos niveles son los adecuados como lo exige la Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador.

Para esto utilizaremos los radiales que cruzan por la ciudad hasta la periferia de la misma, refiriéndonos nuevamente a la figura 7.3 y a las siguientes expresiones:

$$Pr[dBw] = E[dBu] - 20 \log f [Mhz] - 105.1$$

$$Pr[dBw] = ERP[dBW] - Lo[dB]$$

$$Lo[dB] = 32.44 + 20 \log f [Mhz] + 20 \log d [km]$$

Los valores calculados se detallan en las tablas 7.16 y 7.17.

RADIAL	Nordeste @45°	Este @0°	Sureste @315°
ERP [dBw]	13.0008	13.0008	13.0008
ERP [w]	19.9562989	19.956299	19.9562989
Path loss, Lo [dB]	82.29	84.094	83.088
Pr [dBw]	-69.2892	-71.0932	-70.0872
E [dBu]	81.7987666	79.994767	81.0007666
Grado de señal	principal	principal	principal

Tabla 7.17: NIVELES DE SEÑAL ESPERADOS CUANDO EL TRANSMISOR TRANSMITE A SU CAPACIDAD NOMINAL.

RADIAL	Nordeste @45°	Este @0°	Sureste @315°
ERP [dBw]	10.0008	10.0008	10.0008
ERP [w]	9.978149449	9.9781494	9.978149449
Path loss, Lo [dB]	82.29	84.094	83.088
Pr [dBw]	-72.2892	-74.0932	-73.0872
E [dBu]	78.7987666	76.994767	78.0007666
grado de señal	principal	principal	principal

Tabla 7.18: NIVELES DE SEÑAL ESPERADOS CUANDO EL TRANSMISOR TRANSMITE AL 50% DE SU CAPACIDAD NOMINAL.

Entonces analizando las tablas 7.17 y 7.18, y recordando que el nivel mínimo adecuado es de 77 dBu, vemos claramente que siempre obtendremos un nivel de señal óptimo, cumpliéndose nuestro principal objetivo de llevar señal televisiva a Puerto Baquerizo Moreno, de buena calidad, como lo exige la Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador.

- **Características de la torre:**

Como se mencionara anteriormente, la antena será ubicada a una altura de 24 metros sobre el terreno, por lo tanto la torre debe de tener al menos esa altura. Tomando también en consideración las dimensiones de las antenas a utilizarse, la cantidad que se utilizarán, el peso neto del sistema de antenas, el peso de los cables y accesorios para la instalación. Así también, se debe considerar la velocidad máxima del viento y el tamaño del lugar donde se instalará la torre.

Entonces acogiéndonos a estas consideraciones y a las facilidades que deben haber para la instalación y mantenimiento de la torre, escogimos una torre ayudándonos con los datos proporcionados por los fabricantes de las antenas, distribuidor y cables.

Sistema radiante Rymsa: AT13-223

Cantidad de antenas: 2

Dimensiones (mm): 1300 x 1000 x 530

Resistencia al viento: 1600 N @ 160 Km/h.

Peso neto (Kg): 90

Peso del distribuidor y cables de interconexión (Kg): 1.5

Cable principal: LCF12-50J

Cantidad (m): 24

Peso (Kg/m): 0.22

Peso neto (Kg): 5.28

Si consideramos a dos personas operadoras de 100 Kg cada una instalando las antenas, entonces el peso mínimo que soportará la torre será:

$$\text{Carga mínima} = 90 + 1.5 + 5.28 + 200 = 296.78 \text{ Kg}$$

Si el ancho de cada panel es de 1000 mm; entonces cada cara de la torre, en donde se instalarán los paneles, tendrá también 1000 mm de ancho.

Como solamente se usarán dos paneles, entonces la base de la torre será triangular y no rectangular para optimizar el uso de las caras de la torre. Y para reducir costos por espacio de terreno, tendrá que ser auto soportada. Por tanto las características de la estructura acerada, que se mandará a diseñar y construir, se las puede resumir de la siguiente forma:

Tipo: auto soportada

Base: triangular

Altura: 25 metros.

Ancho de caras: 1000 mm cada una

Velocidad máxima del viento: 200 km / h

Carga mínima: 296.78 Kg

Resistencia al viento mínima: 1600 N @ 160 km / h

7.4 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL SISTEMA DISEÑADO.

Una vez elegidos los equipos que integrarán el sistema de recepción satelital y de transmisión VHF, podemos describir el funcionamiento de toda nuestra estación, con la ayuda de las figuras 7.15 y 7.16, como se lo hace a continuación.

7.4.1 Listado de Equipos y Accesorios.

Los equipos que integrarán el diseño de la Estación San Cristóbal son:

1 Antena 3.8 metros, PATRIOT

1 LNB 140194 a 20°K, CALIFORNIA AMPLIFIER

2 IRD NTC –2179, NEWTEC

1 USS NTC-2085, NEWTEC

1 Transmisor de Televisión VHF III a 10 W, EMCEE.

1 Sistema Radiante VHF III para canal 11, RYMSA.

Los equipos de monitoreo y control son:

1 Monitor de Forma de Onda para señales NTSC-M, LEADER 5222

1 Televisor Monitor CT-13R17B, PANASONIC.

1 Antena Yagi, 10 elementos.

Accesorios:

Cable Heliax ½" LCF12-50J.

1 Splitter doble salida con bloqueo DC, SPAUN.

Cable RG-6U, BELDEN.

Cable RG-59U, BELDEN.

Conectores BNC.

Conectores tipo F.

Conectores XLR, para audio.

Conectores RCA, para audio y video.

Conectores tipo N.

7.4.2 Descripción de la primera parte: Recepción Satelital.

La débil señal portadora DTV de 5Mbps a 4GHz (banda C) que llega desde Guayaquil a través del satélite INTELSAT 805, es capturada por medio del alimentador de la antena receptora para banda C de 3.8 metros de diámetro (marca PATRIOT) y ganancia promedio de 42.4dBi. Después la señal es llevada a través de la interfase CPR299 al LNB 140194 para banda C (en la marca CALIFORNIA AMPLIFIER), para que sea amplificada a una ganancia de 63 dB y obtenida, por medio de su conector de salida tipo F (hembra), para ingresar a los sistemas IRD's¹⁰.

¹⁰ IRD, integrated receiver decoder.

La estación terrena cumple con los estándares de INTELSAT para estaciones terrenas TVRO¹¹.

De esta manera la señal está lista para ingresar, por medio de un cable RG-6 con impedancia de 75 ohmios y del splitter doble salida para banda L, a cada uno de los dos IRD's NEWTEC NTC2179NB. Este splitter, marca SPAUN, tiene ciertas características de bloqueo para evitar el daño de uno de los IRD's o ambos, a causa de la corriente de alimentación que envían cada uno hacia el LNB para su funcionamiento. O sea, para evitar que la corriente del uno trate de ingresar por la salida de corriente del otro, que a su vez es la entrada de señal, y viceversa.

Cada IRD es compatible con los estándares DVB ETS300421 para modo QPSK (DVB-S) y ETS301210 para contribuciones 8PSK y 16QAM. Los IRD's se componen básicamente de dos etapas, la parte demoduladora y la parte decodificadora.

A la primera etapa ingresa la señal amplificada por el LNB en banda L y modulada en QPSK $\frac{3}{4}$ + RS, para que sea demodulada y decodificada. Después los datos se desenmascaran (descrambing) de acuerdo al tipo de máscara (scrambing) que se utilizó en la transmisión. Seguidamente, la información es demultiplexada, ya que las señales originales de audio y video

¹¹ TVRO, television receives only. Sistema solo receptor de señales de Televisión.

son multiplexadas y codificadas antes de transmitir las hacia el satélite. Una vez demultiplexada la información, esta ingresa a los decodificadores MPEG-2 para video y MPEG capa 1 o 2 para el audio, a fin de proporcionar las señales de audio y video digitales descomprimidas.

Después cada señal digital se somete a un respectivo proceso final para obtener las señales analógicas a la salida del IRD.

La señal de video descodificada, ingresa a un bloque codificador analógico donde será convertida en señal analógica compuesta PAL, NTSC o SECAM y poderla obtener en las salidas BNC de cada IRD.

La señal de audio, después de ser decodificada por su respectivo audio-decoder MPEG capa 1 o 2, ingresa a los DAC/amplificadores para obtener el audio analógico en las salidas XLR de cada IRD-DVB.

Las señales analógicas de audio y video provenientes de los dos IRD-DVB, ingresan a un sistema de switcheo redundante Newtec NTC2085, en configuración 1:1, para proteger a todo el sistema en el eventual caso de que uno de los IRD-DVB llegase a fallar. Es decir, se conmute automáticamente al otro IRD-DVB disponible y de esta manera evitaremos que se interrumpa la transmisión de la programación televisiva.

El USS NTC-2085 está compuesto de los módulos de switcheo NTC3410DA y NTC3410C3, para audio y video respectivamente, y de un módulo para monitoreo de los IRD's y de los dos módulos anteriores.

De cada IRD se toma la señal audible en sus respectivas salidas XLR y son llevadas al módulo NTC3410DA utilizando dos cables convertidores 4-XLR (M) a DB15 (M) Newtec NTC4214AA. En la salida DB-15 (H) del módulo de audio conectamos otro cable convertidor NTC-4114AA, para tomar la señal de sonido desde las terminaciones XLR y llevar una hacia el transmisor VHF EMCEE, y la otra llevarla hacia el televisor de monitoreo.

Las dos salidas de video análogo BNC (H) de cada IRD, se las introduce al módulo de video NTC-3410C3 por medio de cables RG-59. Y como este módulo posee tres bancos de conmutadores y cada banco posee a su vez dos entradas y una salida, utilizamos dos bancos. En cada uno conectamos las dos salidas BNC de video análogo de cada IRD a las dos entradas que tiene cada banco utilizado. Y de la salida de cada banco obtenemos las señales de video analógico para ser enviadas al transmisor y al sistema de monitoreo.

Para conocer si las señales de audio y video, que salen del sistema de switcheo, están ingresando al transmisor EMCEE, utilizamos el siguiente sistema de monitoreo:

La señal de audio que sale del NTC2085 a través del módulo NTC-3410DA, se la introduce también a la entrada auxiliar de audio del televisor de 13" Panasonic CT-13R17B, para controlar que la señal audible esté ingresando al transmisor. Así mismo, la señal de video que sale del módulo NTC3410C3, es ingresada a un equipo monitor de forma de onda (WFM) LEADER 5222, para controlar los niveles de video e ingresarla después al televisor de 13" para visualizarla.

Los IRD-DVB poseen adicionalmente entradas y salidas auxiliares para la configuración y el monitoreo de ellos mismos por medio un software de monitoreo que proporciona el fabricante como opcional. Aunque también vale resaltar que cada IRD posee un sistema de monitoreo y control interno accediendo a ellos a través de un menú de opciones en sus partes frontales, y por medio de los cuales podemos conocer parámetros como el Eb/No, data rate, B.E.R, frecuencia de portadora, tasa de símbolos, tasa de video y audio, formato de video, relación de aspecto de video, alarmas, resolución de video, entre otras.

Cabe mencionar, que cada IRD además de proporcionar salidas de video y audio analógicos, también proporcionan las señales digitales de las mismas si el caso amerita su uso.

7.4.3 Descripción de la segunda parte: Transmisión Terrestre en VHF.

Después de que las señales analógicas de audio y video salen del sistema de conmutación redundante NTC2085, estos ingresan a las respectivas entradas para audio y video del transmisor VHF banda III, modelo TV10E marca EMCEE con capacidad para 10w de salida.

Dentro de este equipo las dos señales son moduladas y amplificadas, en una relación 10:1 para video y audio respectivamente, para después ser diplexadas y enviadas hacia el sistema radiante de Rymsa por medio del cable heliax LCF12-50 de 1/2" de diámetro a 50 ohms y con dieléctrico de espuma (foam dielectric), para finalmente proveer del servicio de a los pobladores de Puerto Baquerizo Moreno.

Para monitorear la señal que sale al aire, se utiliza el televisor de 13" Panasonic CT-13R17B, introduciendo la señal aérea al sintonizador del mismo utilizando una antena receptora Yagi de 10 elementos con una bajada RG-59U de 2 metros.

Para prevenir la desconfiguración o daño de los equipos satelitales y evitar también la interrupción de la transmisión de la señal al aire por causa de las variaciones bruscas de voltaje en la línea de energía AC o apagones, los IRD's, el switch de redundancia y el transmisor VHF son protegidos con el sistema UPS – regulador SMART ON LINE SUINT1000RT2U de la marca TRIPP-LITE, cuya capacidad se calcula más adelante. El cual también tiene las características on line y salidas senoidales, para disminuir el efecto de las armónicas en los equipos que se conectan en él.

Además de conectarse al UPS los equipos mencionados anteriormente, también se protegen el monitor de forma de onda LEADER 5222 (WFM) y el televisor de monitoreo PANASONIC CT-13R17B, aunque la mayor parte del tiempo permanecerán apagados.

Todos los equipos que involucran nuestro diseño, con excepción del sistema radiante, estarán ubicados dentro de un cuarto de dimensiones 4 x 4 metros. Y por tanto, para evitar el daño de alguno de ellos debido al calor excesivo, dentro de este cuarto se instalará un sistema de enfriamiento, cuya capacidad será también calculada más adelante.

Dentro del cuarto, los equipos satelitales, monitoreo y protección, estarán instalados en un rack cuyas dimensiones serán determinadas posteriormente.

Cabe también mencionar que el sistema radiante está conformado por dos elementos radiantes de doble dipolo AT13-223 (paneles) de polarización horizontal, distribuidos en un solo nivel de piso (bay) y orientados con una diferencia de 120° en los acimutes de radiación.

Cada panel está unido por medio de un cable LCF12-50 (latiguillos de antenas) al distribuidor de potencia simétrico DT13-112 de RYMSA, refiérase a la figura 7.17.

Este distribuidor de potencia simétrico fue diseñado por su fabricante teniendo en cuenta la máxima potencia admisible por cada elemento integrante del mismo. Posee dos salidas tipo DIN 7/16" (hembra) a 50 ohms y una entrada tipo N (hembra) también a 50 ohms. El sistema es presurizable hasta los conectores de salida del repartidor de potencia.

Además, el sistema en conjunto es apto para trabajar en todo el ancho de banda de VHF III y será instalado a 24m sobre la base de una torre triangular de 25 metros de altura y cuyas caras tengan iguales dimensiones.

Las antenas se suministran con un agarre (en forma de “U”) adecuado para ser instaladas en un tubo de Ø 80-110 mm.

Así mismo, Rymsa ha incluido el herraje a tubo de Ø 80-110 mm necesarios para instalar el distribuidor de potencia.

Para facilitar la instalación y permitir una rápida verificación del conjunto radiante, los latiguillos van marcados con un código de colores y un casquillo de aluminio donde se indica el código y la fase de alimentación.

ESTACION SAN CRISTOBAL

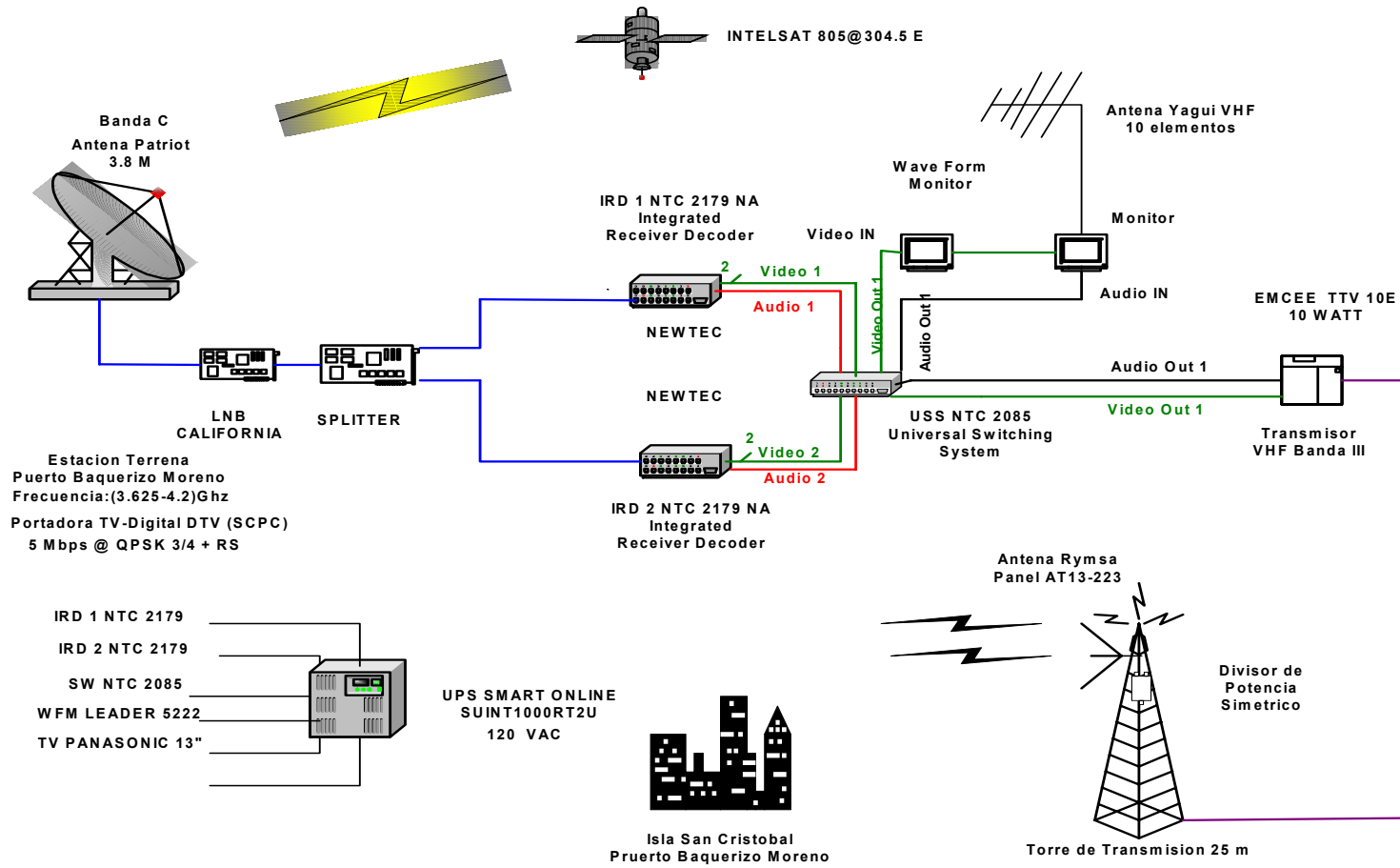


Figura 7.15: DIAGRAMA ESTRUCTURAL DE LA ESTACIÓN SAN CRISTOBAL

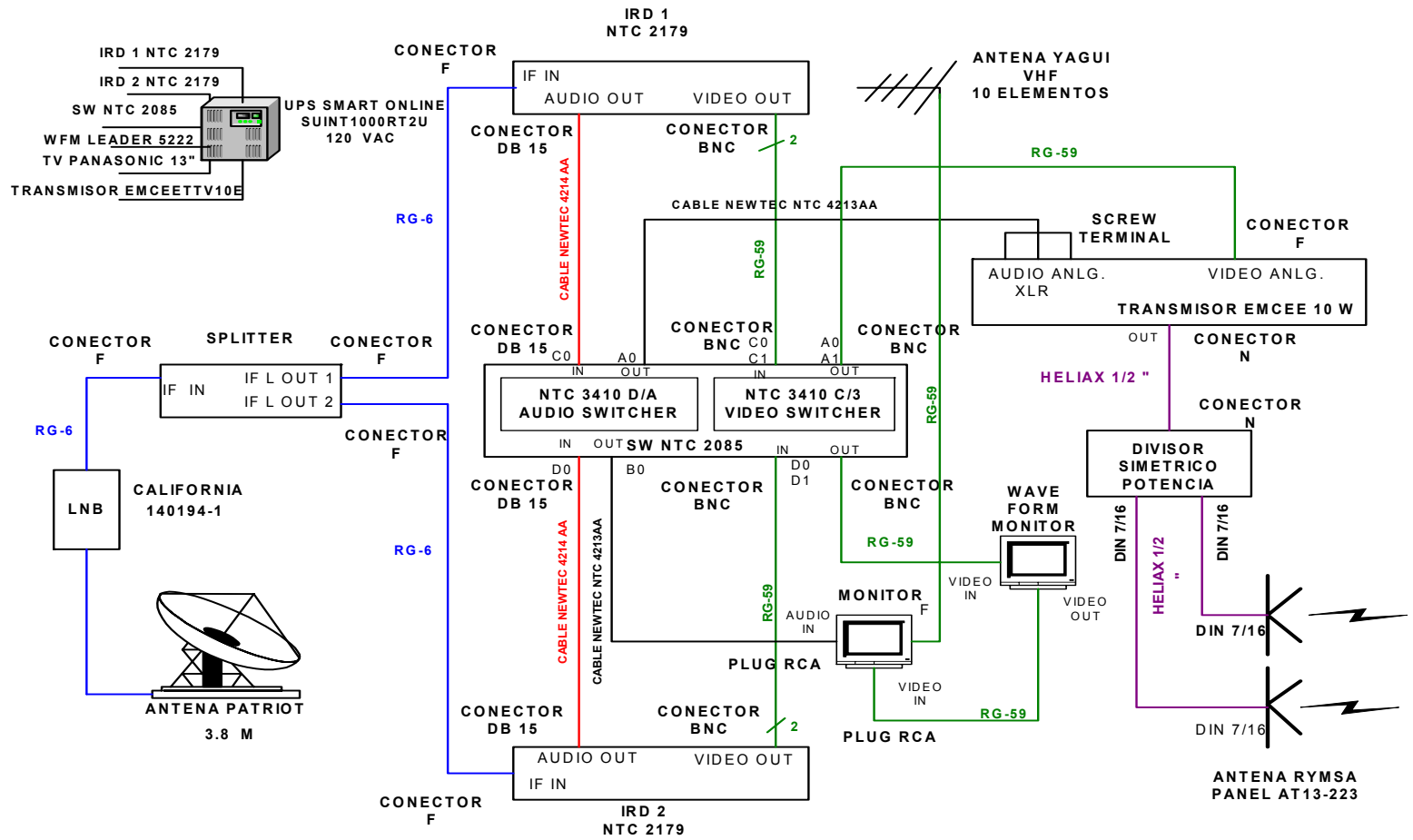


Figura 7.16: DIAGRAMA DEL CONEXIONADO DE LOS EQUIPOS.

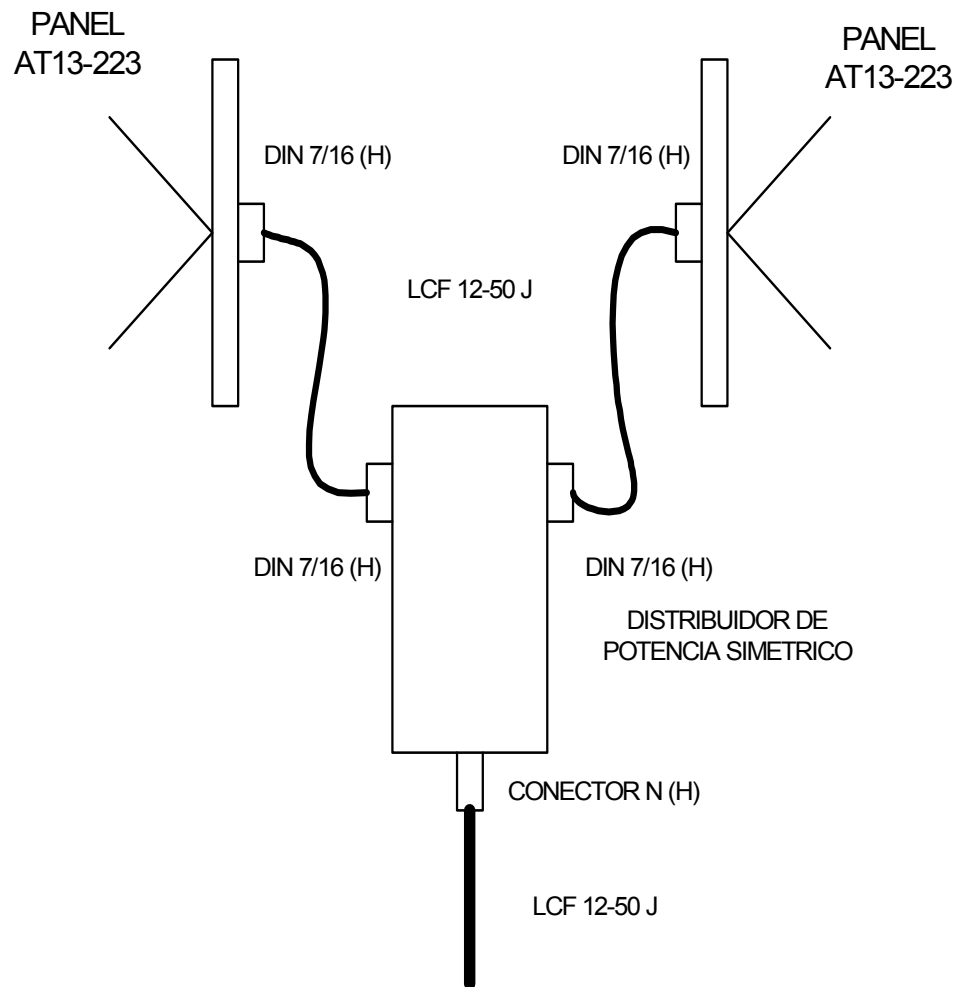


Figura 7.17: DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA RADIANTE.

7.5 DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN, ENFRIAMIENTO Y SISTEMA ELÉCTRICO PARA EL CUARTO DE LOS EQUIPOS.

7.5.1 Cálculo del sistema de protección (UPS)

Para calcular la capacidad del sistema de protección UPS-regulador, que evitará que los equipos sufran deterioros debido a variaciones de voltaje y / o cortes de energía indeterminada que puedan cambiar la configuración de los receptores IRD's, solo necesitamos sumar el consumo de energía de cada equipo de acuerdo a las especificaciones eléctricas que indican sus respectivos fabricantes. De esta manera hemos realizado el cálculo en la tabla 7.19.

Equipos	Consumo [W]
IRD NEWTEC NTC-2179	50
SWITCH NTC-2085	40
IRD NEWTEC NTC-2179	50
MONITOR LEADER 5222	40
TV PANASONIC CT-13R17B	65
TRANSMISOR EMCEE TTV10E	100
TOTAL	345

Tabla 7.19: CAPACIDAD DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN UPS.

Lo siguiente que tomamos en cuenta es que el tiempo de respaldo que tengan los aparatos sea lo suficientemente prudente para que sigan operando adecuadamente hasta que se restablezcan las condiciones normales de energía eléctrica. Y además el sistema de protección debe tener características on-line con salidas senoidales para evitar problemas con armónicos, ya que los equipos de comunicación son muy sensibles a ellos.

Con el valor del consumo de todos los equipos a proteger y demás consideraciones, decidimos que el UPS-regulador tendrá una capacidad superior a los 345 vatios para que el tiempo de respaldo sea suficiente y la vida útil de las baterías internas del UPS no acorte. Así pues consultando con un fabricante de reconocida trayectoria como la TRIPPLITE, el sistema de protección será el modelo SUINT1000RT2U para una capacidad de 1000 VA y un respaldo de 35 minutos.

Capacidad del UPS-regulador: 1000 VA

El sistema de protección UPS, deberá estar conectado al sistema de puesta a tierra para garantizar que todos los equipos sean protegidos contra sobre tensiones o cualquier tipo de interferencia electromagnética que pueda ocasionar problemas a los mismos.

Por tanto la toma de corriente para el UPS deberá ser del tipo polarizada y la estructura metálica del rack estará también conectada a la tierra física del sistema como lo recomiendan los fabricantes de los equipos y las normalizaciones para la puesta a tierra.

7.5.2 Cálculo del Sistema Acondicionador de Aire.

Para el cálculo de un acondicionador de aire se debe tomar en consideración la capacidad inicial del A/A, la cantidad de energía que disipan los equipos instalados en el interior del cuarto a refrigerar convertidos en BTU y el consumo en BTU de las personas que estarían operando en dicho cuarto.

Sumado todos estos valores en BTU se procede a multiplicar por un factor de protección de 1.25, obteniendo de esta manera el valor total en BTU de nuestro equipo.

La capacidad de un acondicionador de aire está dado por.

$$\text{Capacidad (BTU): } \text{Área} \times 500 \text{ BTU.}$$

Como nuestro cuarto de equipos tiene una área de 4 x 4 tenemos:

$$16 \times 500 \text{ BTU} = 8000 \text{ BTU}$$

A este valor de energía se debe de agregar la potencia de los equipos que se encuentra en nuestra estación convertidos a valores de energía.

Los valores de potencia de los dos IRD NTC 2179, el Universal Swicth NTC 2085, el transmisor EMCEE, del televisor de 13", el monitor LEADER, y la potencia de consumo de las luminarias respectivamente son.

$$(100+40+100+ 65 + 40 + 144)W = 489 W$$

Como sabemos Potencia se la define:

$$\text{Potencia (Watt)} = \text{Energía (Joules)} / \text{Tiempo (Segundos)}$$

Procedemos a convertir este consumo por hora (1 hora = 3600seg) tenemos:

$$489 \text{ Joule/seg.} \times 3600 \text{ seg.} = 1760400 \text{ Joule}$$

A este valor de energía consumida por nuestro equipo se lo procede a transformar a valores en BTU.

Sabiendo que 1 BTU = 1050 Joule, tendremos:

$$1760400 \text{ Joule} \times [1 \text{ BTU} / 1050 \text{ Joule}] = 1676.57 \text{ BTU}$$

Ahora vamos a incluir la disipación de energía en el caso de encontrarse personas en el interior del cuarto a refrigerar.

$$\text{Consumo de Calor} = \text{\#de personas} \times 500 \text{ BTU}$$

Considerando a dos personas.

$$2 \times 500 \text{ BTU} = 1000 \text{ BTU}$$

Luego a este valor en BTU se suma a la capacidad inicial del acondicionador de aire y la energía que disipan los equipos.

$$(8000 + 1676.57 + 1000) \text{ BTU} = \mathbf{10676.57 \text{ BTU.}}$$

Con este resultado obtenido aseguramos un nivel de refrigeración óptimo del cuarto, pero por seguridad se procede adicionar un factor de protección del orden del 1.25, por tanto.

$$10676.57 \times 1.25 = \mathbf{13,345.71 \text{ BTU}}$$

Dado que en el mercado no existe un A/A de 13346 BTU, se tomaría entonces un A/A con capacidad de 14000 BTU.

Capacidad del Sistema Acondicionador de Aire: 14000 BTU/H

Los cuales consumen aproximadamente 2571 Watt.

El equipo acondicionador de aire deberá estar conectado al sistema de puesta a tierra como lo recomiende su fabricante y utilizará una toma de corriente del tipo polarizada.

7.5.3 Listado de los Equipos de protección y acondicionador de aire.

Aquí enlistamos al equipo que utilizaremos para proteger al sistema diseñado de las variaciones de voltaje e interrupciones de energía eléctrica y al equipo para el sistema de enfriamiento.

1 UPS-REGULADOR SUINT1000RT2U de 1KVA, TRIPPLITE.

1 Acondicionador de Aire a 14000 BTU-H, AW14FAMB SAMSUNG.

7.5.4 Cálculo del Sistema Eléctrico.

A continuación se presenta el cálculo de las instalaciones eléctricas necesarias para proveer de energía eléctrica a nuestra estación con una demanda total de 3.26 KW.

7.5.4.1 Consideraciones generales.

- **Suministro de energía.**

La estación se proveerá de energía eléctrica desde las redes de distribución de la Empresa Eléctrica Local.

- **Acometida en baja tensión: tablero de medición.**

Desde las redes locales de distribución se alimentara en baja tensión el Tablero Medidor TM correspondiente.

El tablero Medidor se ceñirá a las normas exigidas por la Empresa eléctrica Local. Será construido en chapa de hierro de 1/16" de espesor, reforzado con estructura en ángulo de hierro que garantice su rigidez. Todos los elementos metálicos serán tratados con ácido fosfatizante, pintados con anticorrosivo y acabado con esmalte horneable.

La medición de este sistema será del tipo directo en baja tensión, para lo cual se instalara el Tablero Medidor con una base socket Clase 100 monofásica donde ira colocado un disyuntor principal de 30 A-2P (dos polos) para protección de la estación.

- **Alimentador a panel**

Se instalará el alimentador respectivo con tubería tipo PVC y conductores con asilamiento TW, del diámetro y calibre correspondiente.

El alimentador al panel de distribución PD tendrá un conducto de 1" de diámetro que alojara los siguientes conductores: 2#8 AWG-TW-Cu para las fases, 1#10 para el neutro.

- **Panel de distribución.**

Los paneles de disyuntores térmicos que actúan como centro de carga para los circuitos de alumbrado, tomacorriente, y de los equipos especiales, serán del tipo monofásico 4 hilos, enchufables, marca General Electric o similares.

Los disyuntores serán del tipo enchufable, automáticos y provistos de un dispositivo de protección termo magnético. Este panel de distribución ira empotrado en la pared.

Las entradas a los paneles de distribución de los alimentadores, serán realizadas utilizando ductería PVC, con conectores apropiados.

Las salidas del panel de distribución al circuito interno, serán realizadas utilizando ductería PVC, con los conectores apropiados.

- **Cajas de paso salida y derivación.**

Se instalara en obra cajas metálicas para paso en determinadas zonas de tubería, con el objeto de evitar el exceso de codos. Las cajas serán de acero galvanizado tipo pesado con agujeros normalizados para adaptar conectores tipo EMT.

No se permitirá, bajo ningún concepto que en las cajas queden agujeros abiertos no usados para conexión de tubería.

En los puntos de luminaria se utilizara cajas octogonales galvanizados con tapas, desde las cajas saldrá un chicote de conductor platina 2x18 para la conexión de luminaria, estas cajas serán de 4" por lado y 2 1/8" de profundidad. En los puntos de interruptores y tomacorriente de 120/240 voltios se utilizaran cajas rectangulares profundas galvanizadas con dimensiones 4"x2" y 2 1/8" de profundidad.

- **Conductores.**

Todos los conductores serán de cobre Cu con aislamiento TW. Los conductores serán de un solo hilo con aislamiento TW, a excepción de los conductores de los alimentadores que serán del tipo cableado.

No se permitirá hacer empalmes dentro de los conductos. En la tabla 7.20 se ilustra el planillaje del sistema eléctrico.

PANEL	CIRCUITO	PUNTOS	VOLTAJE	FASE	CONDUCTOR	DUCTO	
						Φ	DISYUNTOR
PD 4/8E	1	1	120 V	A	#12	1/2	20A-1P
	2	4	120 V	B	#12	1/2	20A-1P
	3	4	120 V	A	#12	1/2	20A-1P
	4	1	240 V	AB	#12	1/2	20A-2P

Tabla 7.20: PLANILLAJE DEL SISTEMA ELÉCTRICO.

7.5.4.2 Cálculo de la demanda de carga del sistema.

A continuación se presenta el cálculo de la demanda total de energía.

DESCRIPCION	CIRCUITO	PUNTOS	CARGA W	FACTOR DEMANDA	DEMANDA W
IRD NTC 2179	1	2	50	1	100
SWICHTH NTC2085	1	1	40	1	40
TRANSMISOR EMCEE	1	1	100	1	100
WFM LEADER 5222	1	1	40	0.6	24
TELEVISOR 13"	1	1	65	0.6	39
ALUMBRADO	2	4	60	0.6	144
TOMACORRIENTE	3	4	150	0.4	240
AIRE ACONDICIONADO	4	1	2571	1	2571
TOTAL					3258

Tabla 7.21: CÁLCULO DE CARGA DEL SISTEMA ELÉCTRICO.

7.5.4.3 Cálculo de Breaker principal.

Para el cálculo del disyuntor principal, el cual iría en el Tablero de medición se lo realiza obteniendo la corriente principal que se genera debido al total de la Demanda (Watt) dividido para el voltaje nominal.

Corriente Disyuntor Principal = Demanda (Watts) / [0.8x230 (Voltios)]

Se tiene entonces:

Corriente Disyuntor Principal (Amperios) = 3258 Watt / [0.8x230 Voltios.]

Corriente Disyuntor Principal = 17.71 Amperios.

Por razones de protección se procede adicionar un factor de seguridad de 1.25.

$$17.71 \times 1.25 = 22.14 \text{ Amperios}$$

Seleccionamos el disyuntor de acuerdo a la tabla 7.22 de conductores con los respectivos valores de disyuntor.

Se tomará un **disyuntor de 30 Amperios dos polos**.

Y según la tabla 7.23, el medidor de energía será clase 100 monofásico y una acometida 1 ¼”.

CONDUCTOR #	CORRIENTE POR FASE (Amperios)	DISYUNTOR (Amperios)
14	15	15
12	20	20
10	30	30-40-60
8	40	100
6	55	200
4	70	300
2	95	700
1/0	125	700
2/0	145	800
3/0	165	800
4/0	195	800

Tabla 7.22: TABLA PARA ELECCIÓN DE CONDUCTORES Y DISYUNTORES.

ACOMETIDA TRM	MONOFASICO		TRIFÁSICO		MEDICION
	CLASE	MAX	CLASE	MAX	
1 ¼ "	100	70 (A)	100	70 (A)	DIRECTA
2 "	200	150 (A)	200	150(A)	DIRECTA
2 ½ "	200	+150(A)	200	+150(A)	INDIRECTA

Tabla 7.23: ELECCIÓN DEL MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

DIAGRAMA UNIFILAR

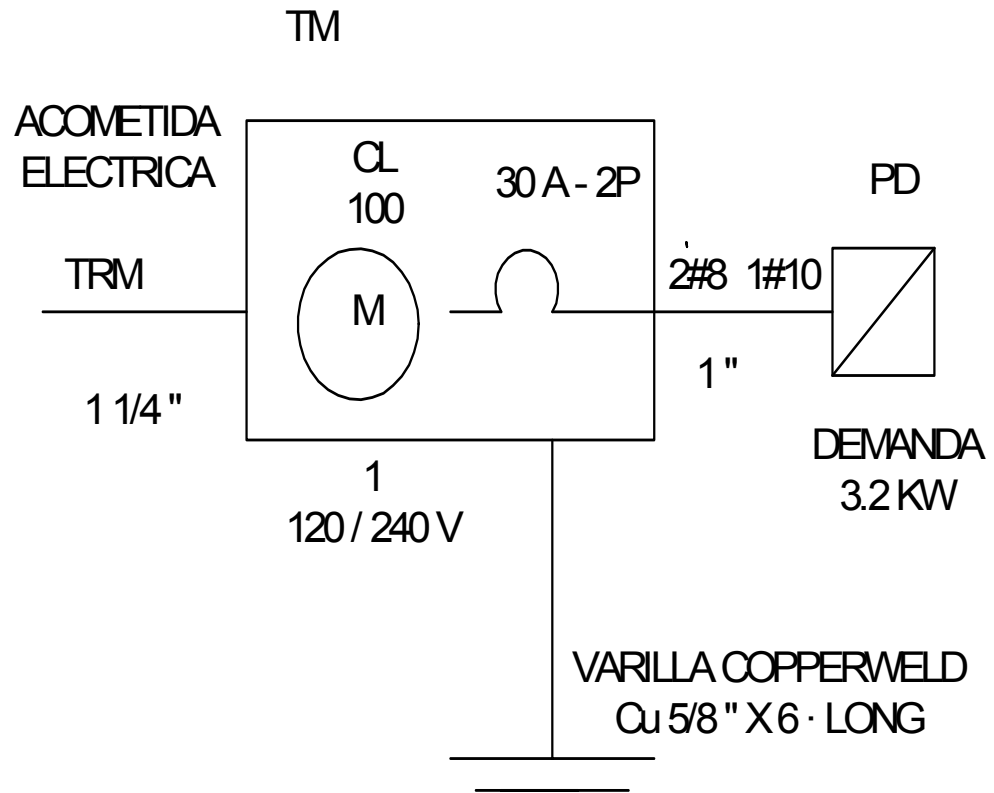


Figura 7.18: DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ELÉCTRICO

PANEL DISTRIBUCIÓN

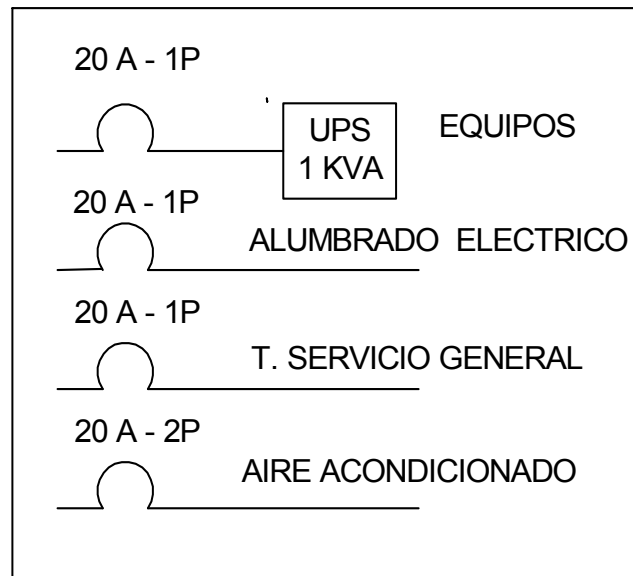


Figura 7.19: DISTRIBUCIÓN DE CARGAS

7.6 UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS DENTRO DEL CUARTO DE COMUNICACIONES: ELECCIÓN DEL RACK

Considerando que el ancho de los equipos satelitales, del transmisor VHF y del UPS es de 19" por cada uno; y además, el ancho de los demás equipos es menos de las 19", entonces decidimos instalar los equipos en un solo rack y de esta manera estamos optimizando espacio físico. También se considera

el peso de cada equipo. Como todos los racks de comunicaciones tienen 19” de ancho estándar, entonces lo que solo haremos es determinar la altura mínima y el peso que debe soportar el rack que necesitamos, de la siguiente manera:

DESCRIPCIÓN	ALTURA ¹²	PESO
	[RU]	[lbs]
2 IRD's NTC-2179	2	13.23
1 Switch NTC-2085	1	6.615
1 WFM LEADER 5222	3	9.2
1 Televisor PANASONIC	9	20.9
1 UPS TRIPPLITE	2	50
1 TRANSMISOR EMCEE	8	75
Espaciamiento adicional de seguridad entre equipos y por expansión	14	
TOTAL	39	174.945

Tabla 7.24: ELECCIÓN DEL RACK PARA LA INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS.

¹² Una unidad de rack (RU) es igual a 1.75” = 4.4 cm, medida estándar.

De acuerdo con los resultados de la tabla 7.24, nuestra estructura debe tener como mínimo 39 unidades de rack, o sea 1.72 metros de altura, y debe soportar al menos 175 lbs de peso. Pero en la practica se comercializan estructuras de 1.22 metros de altura (4 pies) y de 2.13 metros de altura (7 pies); así pues, en nuestro caso escogimos una estructura de 2.13 metros de altura y con una capacidad de hasta 500 libras de peso. La distribución¹³ de los equipos en el rack se ilustra en la figura 7.19.

El rack que hemos propuesto, y cualquier otro que se instalara en el cuarto de equipos, deberá estar unido al sistema de aterrizado por medio de un cable sólido AWG 6 hasta una placa de hierro de 8 x 4 pulgadas, la misma que estará soldada con una lámina de hierro con la puesta a tierra de todo el sistema.

La explicación detallada de la forma de realizar el aterrizaje se desarrolla en la sección 7.7.2 y se muestran en la figura 7.24.

¹³ Con el rack se incluyen tres bandejas dobles para colocar en ellas al transmisor EMCEE, al monitor LEADER y al televisor PANASONIC, ya que ellos no pueden sujetarse directamente al rack.

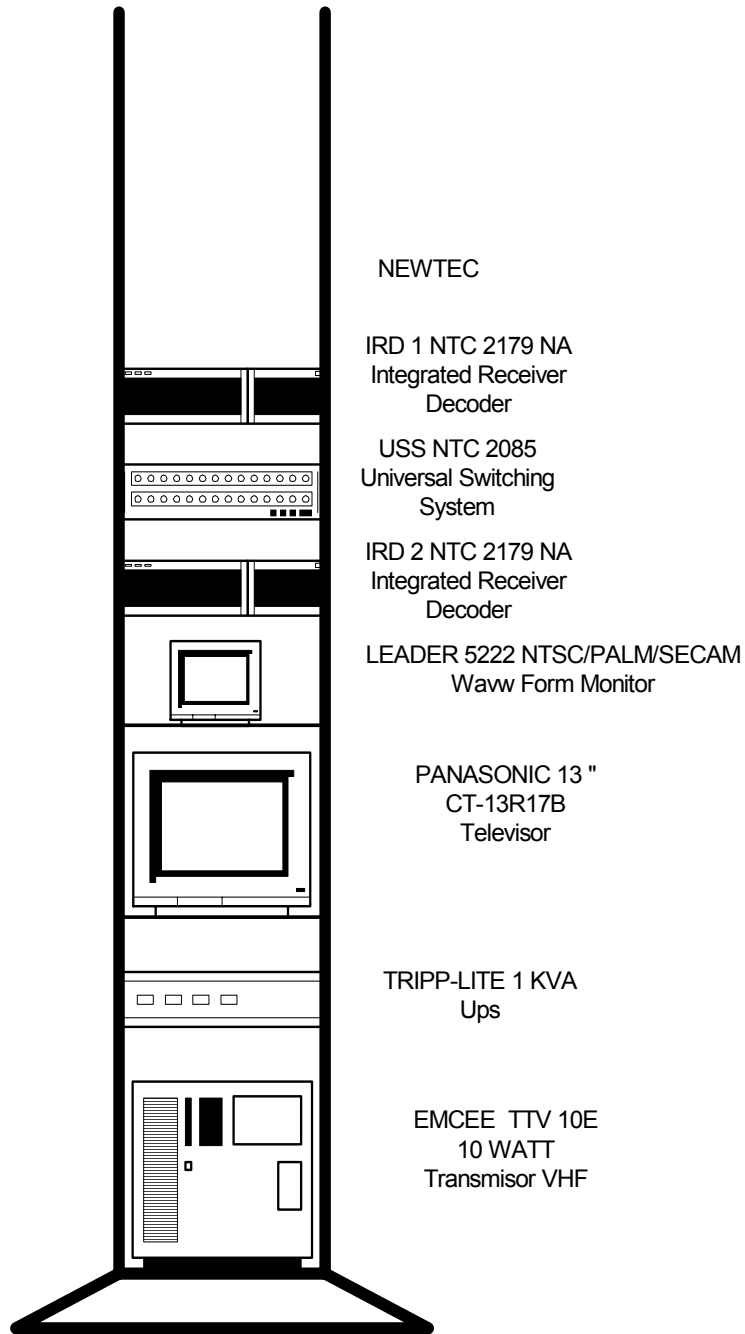


Figura 7.20: DISTRIBUCIÓN DE LOS EQUIPOS EN EL RACK, VISTA FRONTAL.

7.7 ESPECIFICACIONES DE LA OBRA CIVIL Y LA PUESTA A TIERRA.

7.7.1 Obra civil.

Debido a las características de los trabajos a realizar, estos deberán ser proyectados y avalados por un Ingeniero Civil colegiado por lo que su desarrollo queda fuera de los objetivos de este proyecto. Será necesario proporcionar a la persona o empresa encargada del proyecto toda la información referente a:

- Situación física de cada antena. Se determinará mediante replanteo y conociendo los tamaños de antena que se utilizarán para recibir la señal del satélite y la orientación que van a tener. Esto permitirá evitar los solapamientos que se pueden producir entre las antenas excesivamente juntas, lo que provocaría una deficiente recepción de las señales. Este punto es particularmente importante con la antena satelital, ya que ésta deberá tener el recorrido suficiente como para poder orientarse al satélite considerado. Se deben respetar las distancias de seguridad establecidas por el fabricante de antenas.

- Características físicas y mecánicas, tanto de las antenas como de sus soportes, proporcionadas por el fabricante en cuanto a peso, resistencia al viento, lluvia, tipos de anclaje, torsiones, presiones, etc.
- Se deberán facilitar las características arquitectónicas del edificio o las características geológicas del terreno de forma que se puedan realizar las infraestructuras adecuadas para garantizar la seguridad del equipamiento y de las instalaciones, aún en condiciones atmosféricas severas.
- Se han de facilitar los caminos por los que debe de discurrir todo el cableado (preferentemente canalizado) procurando que sean lo más cortos posibles, ya que una tirada excesiva provocará que, debido a la atenuación propia de los cables, los niveles de señal que lleguen a los receptores sea excesivamente baja.

Pero tomando en consideración que las dimensiones del cuarto donde se instalarán los equipos son pequeñas (4 x 4 m), además de tomar en cuenta las dimensiones de la base de la torre triangular, las dimensiones del plato parabólico, las facilidades que se deben dar para realizar labores de instalación y mantenimiento, decidimos que nuestra estación se puede implantar en un lote con dimensiones 10 x 15 metros.

Así en la figura 7.21 se muestra el plano de distribución del área del terreno con todas divisiones y sus dimensiones. En la figura 7.22, mostramos la distribución del área del cuarto de equipos y la localización de los mismos dentro de la caseta.

Pero se insiste en el hecho de que los cálculos, diseño y realización de todas las estructuras deberán realizarse y estar avalados por una persona o empresa dedicada a la Arquitectura o a la Ingeniería Civil para que sean revisadas y aprobadas por el personal técnico de ingeniería encargado del proyecto.

7.7.2 Puesta a Tierra.

Para evitar la destrucción de nuestro sistema y para proteger al personal técnico encargado de peligrosas descargas electrostáticas o sobre tensiones, debemos contar con una puesta a tierra siguiendo las recomendaciones de los fabricantes de los equipos y las normas respectivas para estos casos.

La recomendación proporcionada por los fabricantes, es que el cuarto de equipos sea rodeado por láminas de cobre de 4" de ancho para formar un anillo de baja impedancia y que en cada extremo deberán ser soldadas una

varilla de cobre COOPERWELD de 5/8" como electrodo de tierra y las cuales serán enterradas a 6 pies (mínimo) del nivel del terreno.

El panel de distribución y el medidor de energía estarán conectados a la tierra por medio de una lámina soldada a los mismos y también las tomas de corriente se unirán a la tierra de acuerdo a las normas de instalación respectivas

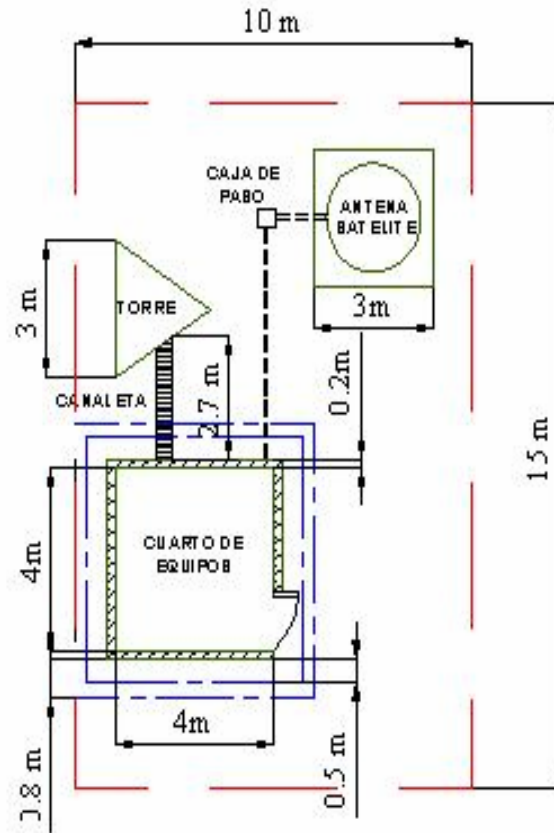
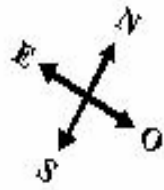
El rack de comunicaciones se unirá al sistema de aterrizaje por medio de un conductor AWG #6 hasta una placa metálica que estará soldada con las laminas del anillo por medio de otra lámina metálica de las mismas características de estas. Y todas las demás estructuras metálicas como la canaleta que llevará el cableado, escaleras y la antena parabólica también deberán estar conectadas al mismo sistema de puesta a tierra para evitar cualquier tipo de daño.

Para evitar la destrucción del sistema debido a las descargas de rayos, en la parte superior de la torre se colocará un pararrayos tipo Franklin, el cual se conectará al sistema de tierra por medio de un conductor sólido AWG 6 hasta una de las patas de la torre. Y a cada pata de la torre se las soldarán también a la puesta a tierra por medio de las varillas COOPERWELD de 5/8" de 6 pies de longitud mínima. Las especificaciones de la puesta a Tierra de todo el

sistema de la estación San Cristóbal de nuestro proyecto se detallan en las figuras 7.23 y 7.24.

7.7.3 Balizamiento

En la torre deberá ser instalado un faro intermitente (baliza) para indicar a los aviadores, en horas nocturnas, el sitio donde se encuentra ubicada la misma. Y deberá poseer su propia instalación eléctrica.






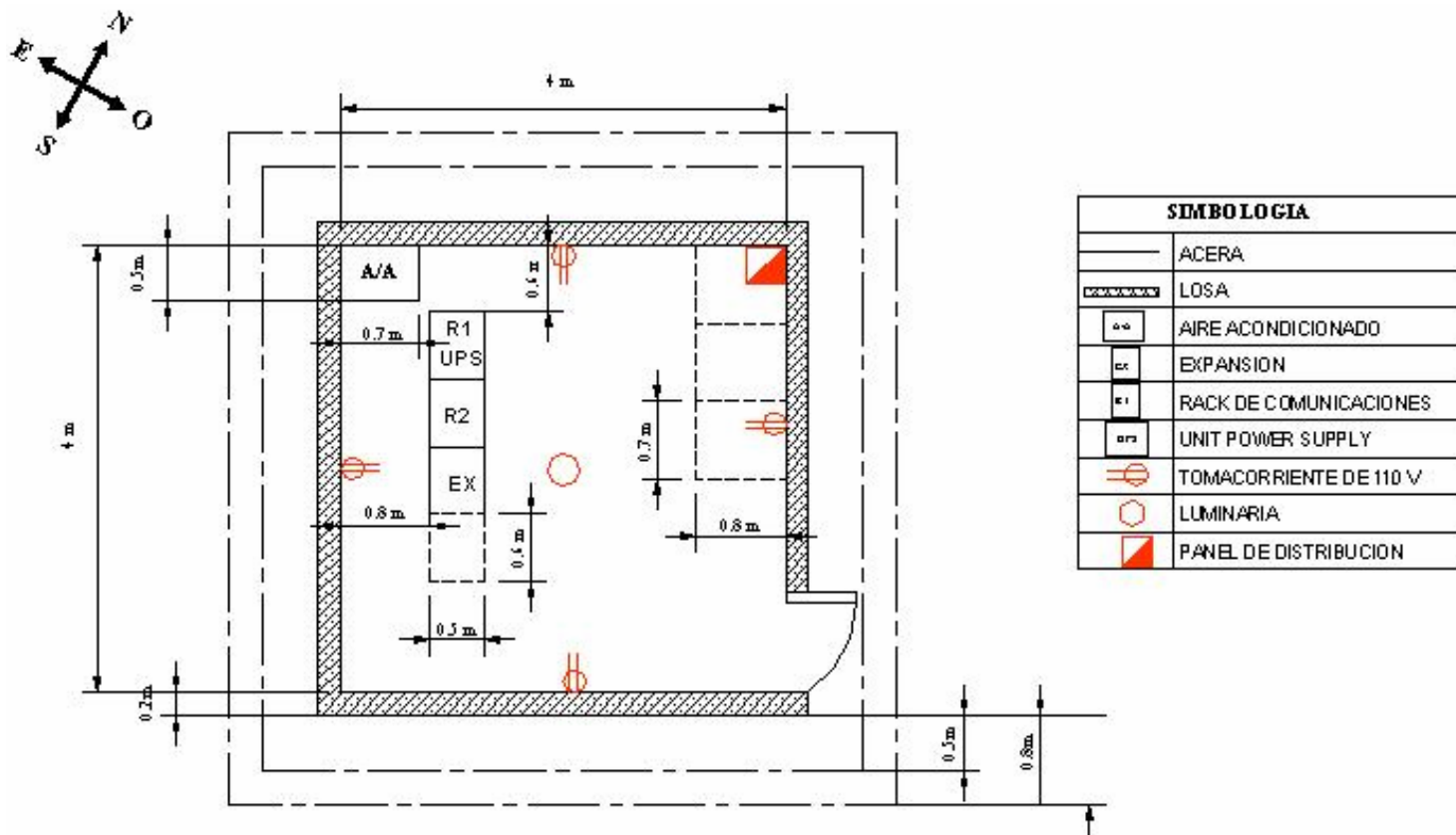
SIMBOLOGIA	
	MALLA
	ACERA
	LOSA

FIGURA 7.21 PLANO DISTRIBUCIÓN DEL TERRENO



SIMBOLOGIA	
	ACERA
	LOSA
	AIRE ACONDICIONADO
	EXPANSION
	RACK DE COMUNICACIONES
	UNIT POWER SUPPLY
	TOMACORRIENTE DE 110 V
	LUMINARIA
	PANEL DE DISTRIBUCION

FIGURA 7.22 DISTRIBUCION DEL CUARTO DE EQUIPOS

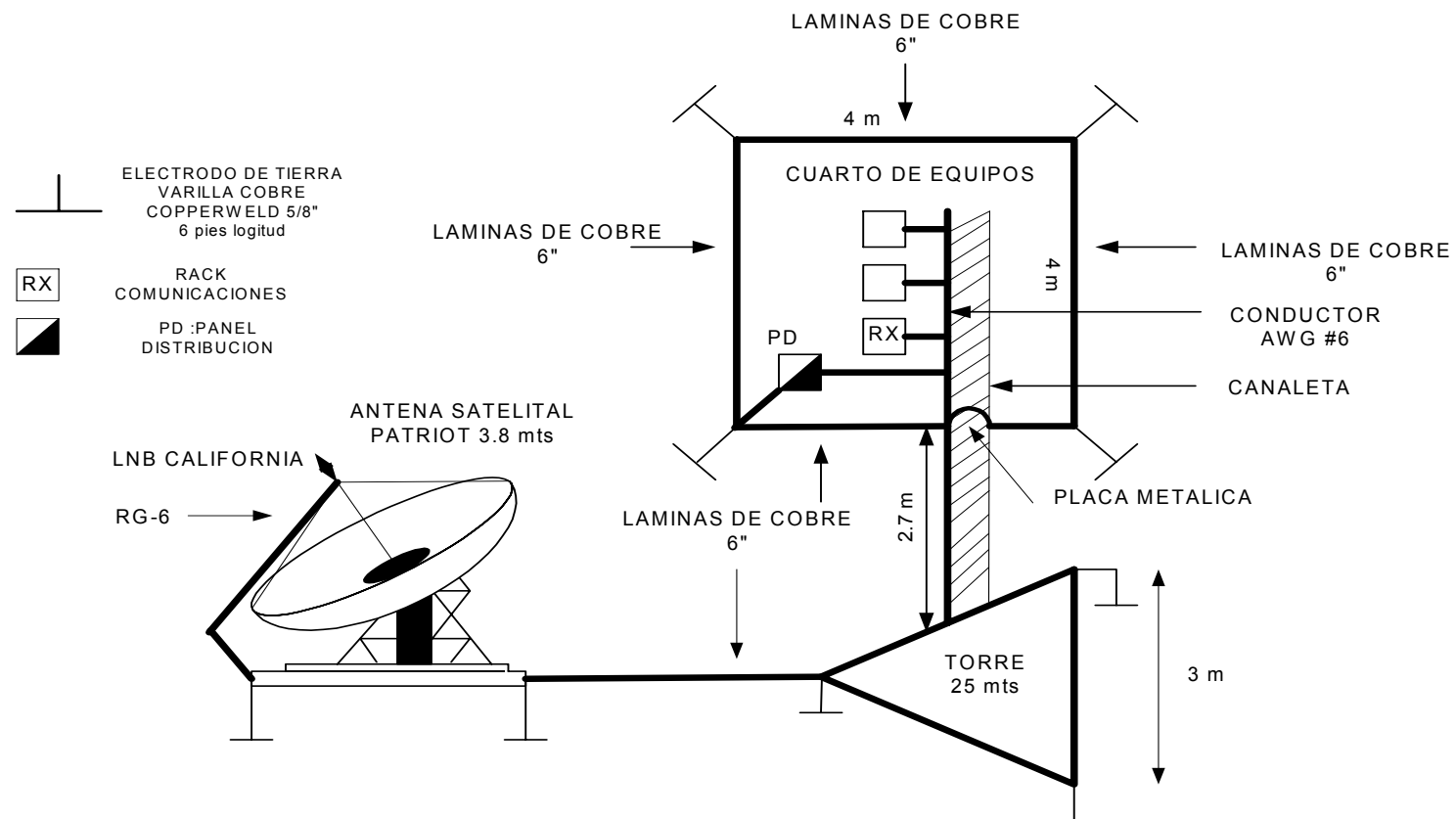


Figura 7.24: ESQUEMA DE LA PUESTA A TIERRA DE LA ESTACIÓN SAN CRISTÓBAL.

7.8 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROYECTO DESARROLLADO.

Una vez culminados los estudios del proyecto, y para una mejor comprensión de su desarrollo, hemos detallado en la siguiente tabla el resumen de las características técnicas principales del mismo.

Nombre:	San Cristóbal			
Información Geográfica:				
Latitud	Sur	0° 53' 56"		
Longitud		89° 36' 56" Oeste		
Altura a nivel del mar		6 metros		
Dirección	Puerto Baquerizo Moreno (Isla San Cristóbal-Galápagos)			
Características de la Estación Terrena:				
Satélite a utilizarse	INTELSAT 805	@ 304.5° E	Equipo Demodulador:	
Tipo de Estación Terrena	TVRO		Marca	NEWTEC
Tipo de Portadora	TV-Digital	QPSK 3/4+ RS	Modelo	NTC-2179
Diámetro de la antena	3.8	metros	Tipo	IRD-DVB
Tipo de Polarización	lineal	vertical	Rango de niveles	-65 a -25 dBm
Método de seguimiento	Fijo			
Banda de recepción	3625 a 4200	Mhz		
Frecuencia de recepción	4000	Mhz		
Figura de Mérito G/T	24.66	dB/°K		
Elevación	50.33	grados		
Acimut	88.67	grados		

Tabla 7.25: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PRINCIPALES DEL PROYECTO ELABORADO.

Características de la Transmisión Terrestre:				
Tipo de transmisión	Analógica			
Estándar de transmisión	NTSC - M			
Banda de transmisión	198 a 204	Mhz	canal 11	
Potencia Radiada Efectiva (ERP)		20	Vatios	
a) Equipo Transmisor:				
Marca	EMCEE			
Modelo	TTV10E			
Tipo	Estado Sólido	Analógico		
Potencia Nominal	10	Vatios		
Relación video / audio	10:1			
Banda de salida	VHF III			
b) Sistema Radiante:				
Tipo de antena	2 paneles AT13-223 + distribuidor RYMSA			
Polarización	horizontal			
Ganancia	3.94	dBd		
Ancho del Haz acimutal	200	grados	a -3 dB	
Ancho del Haz elevación	60	grados	a -3 dB	
Angulo de inclinación	ninguno			
Relleno de nulo	ninguno			
Altura sobre nivel del suelo	24	metros		

Tabla 7.25 (continuación): ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PRINCIPALES DEL PROYECTO ELABORADO.

Características de los cables:			
a) Cable IFL:			
Tipo	RG-6U, 75 ohms	BELDEN	
Longitud	15	metros	
Atenuación	24	dB/100m	
b) Cable RF:			
Tipo	Heliac 1/2", 50 ohms	LCF12-50J	dieléctrico
Longitud	24	metros	espuma
Atenuación	3.08	dB/100m	
c) Energía Eléctrica:			
Fuente	Red Comercial Local		
Voltaje de alimentación	120	VAC, 60 Hz	
Consumo:	3.23	KWH	
Sistema de Protección	UPS, 1000 VA		
Sistema de Tierra	Anillado + varilla COOPPERWELD 5/8", 6 pies longitud		
Protección contra rayos y corrientes estáticas: Pararrayos tipo Franklin + Varilla COOPPERWELD 5/8", 6 pies longitud			

Tabla 7.25 (continuación): ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PRINCIPALES DEL PROYECTO ELABORADO.

7.9 ALCANCE ECONÓMICO DEL PROYECTO.

Para determinar el costo del proyecto, decidimos ilustrarlo en las tablas que se muestran a continuación:

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO USD \$	COSTO TOTAL USD \$
1	Antena de 3.8 m PATRIOT	2235.00	2235.00
1	LNB 20K CALIFORNIA AMPLIFIER	285.00	285.00
1	Splitter doble salida, SPAUN	5.00	5.00
2	Demodulador Decodificador NEWTEC NTC2179 NB (IRD)	6019.00	12038.00
1	Switch de protección de redundancia para los IRD's NEWTEC NTC 2085 USS	1838.00	1838.00
1	Audio Switch Module NEWTEC NTC 3410 DA para NTC 2085	466.00	466.00
1	Video Switch Module NEWTEC NTC 3410 C3	466.00	466.00
1	Dual external switch M&C NEWTEC NTC 3410 EB	372.00	372.00
2	Data Cable NEWTEC NTC 4222 AA	42.00	42.00
1	Transmisor VHF 10 watt EMCEE	8960.00	8960.00
1	Sistema Radiante RYMSA AT13-223	3500.00	3500.00

Tabla 7.26: COSTOS DE EQUIPOS Y ACCESORIOS.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO USD \$	COSTO TOTAL USD \$
25	Cable HELIAX 1/2 "	8.75	218.75
20	Cable RG-6	0.90	18.00
10	Cable RG-59	0.42	4.20
6	Conector F para RG-6	0.20	1.20
2	Conector N macho	35.00	70.00
11	Conector BNC macho para RG-59	1.70	18.70
3	Conector F (macho) para RG-59	0.15	0.45
2	Plug RCA	0.45	0.90
1	Antena Yagi VHF de 10 elementos	15.00	15.00
1	Rack de Piso 7 pies + 3 Bandejas	227.00	227.00
1	Acondicionador Aire 14000 BTU AW14FAMB Samsung	470.00	470.00
1	Televisor de 13" PANASONIC	180.00	180.00
1	UPS 1KVA TRIPP-LITE SUINT1000RT2U	700.00	700.00
1	Wave Form Monitor LEADER 5222	4300.00	4300.00
	TOTAL		41431.20

Tabla 7.26 (continuación): COSTOS DE EQUIPOS Y ACCESORIOS.

Equipos y Accesorios	41431.20
Integración del Sistema (5 % del proyecto)	2071.56
Montaje, instalación, y puesta en funcionamiento (10 % del proyecto)	4143.12
Obra Civil (\$303 x c/ m ² 16m ²)	4850.00
Costo del Terreno \$40 c/ m ²	4000.00
Instalación Eléctrica y Puesta a tierra	2800.00
TOTAL DEL PROYECTO \$USD	59295.88

Tabla 7.27: COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Este presupuesto ha sido elaborado tomando la información proporcionada en Internet por las marcas distribuidoras de los equipos.

Se debe tener en cuenta que este presupuesto no incluye el costo de transporte internacional y local de los equipos, así como tampoco la mano de obra.

7.10 TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

A continuación presentamos un estimado del tiempo de ejecución y puesta en marcha de la Estación de Recepción San Cristóbal.

DESCRIPCION		TIEMPO DE EJECUCION (DIAS)
OBRA CIVIL		37
Construcción de Estación de Recepción	20	
Instalación de Torre de Transmisión	14	
Base Antena Satelital	3	
OBRA ELECTRICA Y PUESTA A TIERRA		15
TIEMPO DE DESADUANIZACION		40
INSTALACIÓN DE EQUIPOS		45
Antena Satelital , LNB y cable RG-6	3	
Instalación de Rack de equipos	1	
IRD (decodificadores) en GALAPAGOS	5	
Switch Redundante	5	
Instalación de Transmisor y configuración	4	
Equipos de protección y monitoreo	3	
Instalación sistema de enfriamiento	2	
Instalación del Sistema Radiante y cable Heliac	7	
Pruebas totales	15	
TOTAL		137

Tabla 7.28: CRONOGRAMA DE EJECUCION DEL PROYECTO

CAPITULO VIII

CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS SELECCIONADOS

8.1 SATELITE: INTELSAT 805@304.5° E



Figura 8.1 FOOT PRINT SATELITE INTELSAT 805@304.5°E

CARACTERISTICAS TÉCNICAS

Total Transponders: Banda C 36 (en equivalentes de 36 MHz por unidad)

Banda Ku 6 (en equivalentes de 36 MHz por unidad)

Polarización: Banda C Pol. Lineal
Banda Ku Pol. Lineal

E.I.R.P: Hemi Beam: Banda C 37.5 up a 43.0 dBW

Uplink Frecuencia: Banda C 5850 a 6650 MHz
Banda Ku 14.00 a 14.25 Ghz

Downlink Frecuencia: Banda C 3400 a 4200 MHz
Banda Ku 12.50 a 12.75 GHz

Figura de Merito G/T: Hemi Beam: Banda C -8.0 up a -3.4 dB/K

SFD Range: Banda C -89 a -70.0 dBW/m²
Banda Ku -96 a -74.0 dBW/m²

8.2 ANTENA SATELITAL MARCA: PATRIOT 3.8 metros



Figura 8.2 ANTENA SATELITAL PATRIOT

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Características técnicas	Banda C
Tamaño de la antena	3.8 m
Frecuencia de Operación (Ghz) de RX	3.7 - 4.2
Frecuencia de Operación (Ghz) de TX	5.850 – 6.725
Ganancia de media banda (-+0.2dB)	42.4 dBi
Temperatura de ruido de la antena	
20° de elevación	30°K
30° de elevación	25°K
Tipico G/T (Midband) con 50 y 70 K LNA	23.0 db/K

Polarización	Circular o lineal
VSWR	1.3:1 Max
Cross Pol	>35
F/D Radio	0.413
Temperatura de Operación	-40° a 140° F(-40° a 60° C)
Perdidas de Inserción:	0.2 dB

CARACTERISTICAS MECANICAS

Tipo de alimentador	Foco Primario
Material de Reflector	Aluminio
Tipo de montaje	EL o AZ
Elevación	0 a 90°
Azimuth	360°
Carga de Viento	125 mph
Peso:	705 lbs
Dimensiones:	87x36x30 in

8.3 LNB : C-BAND AND PHASE LOCKED LOOP (PLL) MARCA: CALIFORNIA



Figura 8.3 LNB CALIFORNIA

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Frecuencia de entrada	3.4 a 4.2 GHz
Frecuencia de salida	950-1750 MHz
Ganancia Típica	60dB Min, 63 dB Typ
Guia de onda de entrada	CPR229
Conector de Salida	Tipo N o SMA
Temperatura de Ruido	20 a 25°C 20° a 35°K
Estabilidad Oscilador Local	±125 KHz Max

Vswr:	2.0:1.0
Impedancia salida:	75 ohms tipo F hembra
Frecuencia Oscilador Local:	5.15 Ghz @ -40°C a + 60°C
Ruido de Fase:	-85 dBc/Hz@1Khz -69 dBc/Hz@100Hz -88 dBc/Hz@10Kz -105 dBc/Hz@100Khz -92 dBc/Hz@100Khz
Físicas:	3.96x3.0x7.0 in
Peso :	20 oz

8.4 SPLITTER SATELITAL MARCA : SPAUN USA VDZ4



Figura 8.4 SPLITTER

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Dos salidas

Poder del máximo 350 MA por salida

El aislamiento de DC por diodos

Temperatura rango: -20° C a 50° C ·

Conectores: 75 ohm, "F" ·

Entrada de aislamiento /output 20 dB ·

Dimensión mm (L,W,D): 75x70x33

Rango de frecuencias Mhz: 47...862, 950...2050,..... ..2300

Perdidas : 3.5dB

8.5 DECODIFICADOR MARCA : NEWTEC NTC/2179 /NX
UNIVERSAL INTEGRATED RECIEVER DECODER (IRD)
DVB - QPSK/8PSK/16QAM - MPEG 4:2:0/4:2:2

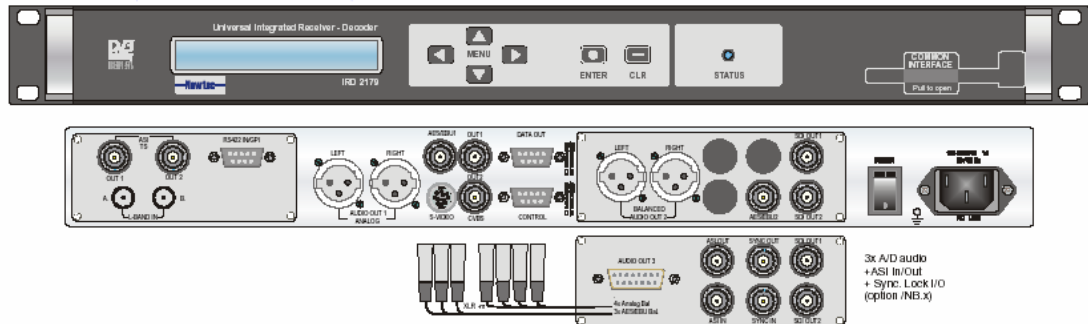


Figura 8.5 DEMODULADOR-DECODIFICADOR AUDIO Y VIDEO

El Receptor-decodificador Integrado Universal NTC/2179 es totalmente compatible DVB normas EN 300421 para el modo de QPSK y EN 301210 para Modos 8PSK y 16QAM . En combinación con el Newtec DVB modulador-demodulador serie (NTC/2077/2080), este IRD permite el uso sumamente eficaz del espectro disponible, requiriendo relativamente E_b/N_0 bajo.

Los NTC/2179/ tienen una entrada de IFL dual con rango de frecuencia de 950 a 2150 MHz, y es compatible con una gama amplia de LNBs comerciales, conveniente para comunicación de datos.

El IRD puede decodificar MPEG2-4:2:2P@ML o video de MP@ML, capa de MPEG II audio y los señales de los datos auxiliares. El video es Composición analógico NTSC o SECAM o SDI incluido el audio. El Audio se decodifica según Capa MPEG 1 o 2 . Todos el control y monitoreo de parámetros están localmente disponibles en el panel frontal (LCD display) y remotamente Vía interfase RS232/RS485.

El IRD está disponible en dos versiones. La primera versión NTC/2179/NA ofrece 2 pares de audio con balanceado analógico y salidas desbalanceadas con AESEBU. La segunda versión NTC/2179/NB ofrece que 3 pares de audio con balanceo analógico y salidas desbalanceadas AESEBU (algunas salidas son en conector DB15 con cable adaptador XLR).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

ETAPA DEMODULADOR

IFL Input : dual input

Conector: 2 x F hembra de 75 Ohms

Rango de Frecuencia: 950-2150 MHz

Return Loss : > 7 dB

Nivel de Señal: -65 –25 dBm

Asi Interfaces: dual output /+ input (NTC/2179/NB)

Conector: 2xBNC hembra de 75 Ohms + 1xBNC hembra de 75 Ohms

Symbol Rates: 1-45 Mbaud máximo

ETAPA DECODIFICADORA

VIDEO

Composición de Salida: (PAL/NTSC/SECAM)

Conector: 2 x BNC hembra de 75 Ohm + OSD

S-Video

Conector: S-Video hembra

SDI-Out: (625/525 Lineas)

Conector: 2 x BNC hembra de 75 Ohm

Sync Lock (input+loop-through) (NTC/2179/NB)

Conector: 2 x BNC hembra de 75 Ohm

Velocidad Video: 1.5-15Mbps MP@ML

5-50Mbps 422P@ML,

AUDIO

Salida Analógico: (1R, 1L / 2R, 2L, 3R, 3L)
Conector: 2 x XLR (m) / DB15 + 4 x XLR adaptador
AES-Digital-Out
Conector: DB15 +3 XLR(m) on cable adapter
Formato Audio: MPEG Layer I and II
Modos Audio: mono, stereo, join stereo, dual mono
Velocidad Audio: 64-384 kbps

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Fuente de Poder: 100-240V, 50/60Hz, 50Watts

OTROS

MONITOREO & CONTROL

Conector: 9 pin sub-D hembra
Electricas: RS485 (or RS232)

ALARM INTERFACE

Conector: 9 pin sub-D (F)

Electrica: switch-over contact NO & NC

DATA AUXILIAR

RS232/422-OUT

Conector: sub-D9 hembra

Velocidad: 9600-115200 RS232

up to 20Mbps RS422

Dimensiones: 19" subrack 4.4 cm alto 1UR

Peso: 3 Kg

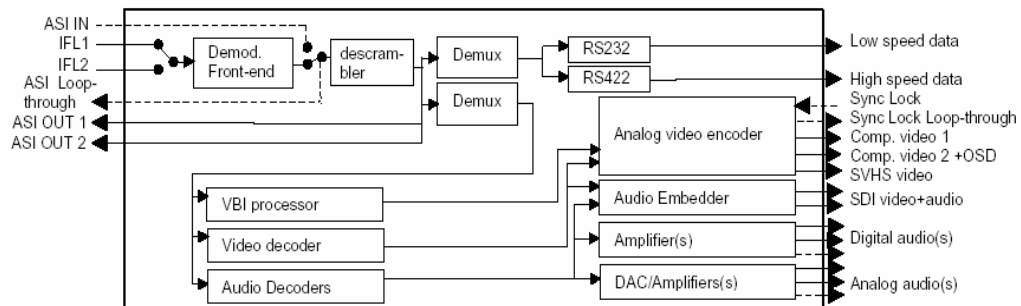


Figura 8.6 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL DECODIFICADOR AUDIO Y VIDEO

8.6 SWITCH DE PROTECCIÓN MARCA : NEWTEC NTC/2085/XX UNIVERSAL SWITCHING SYSTEM-USS



Figura 8.7 SWITCH DE PROTECCION DEL DECODER

El NTC/2085 es un cambiado muy poderoso y universal sistema, proporciona un nivel de redundancia de 1:1 o M:N para esquemas complejos

El sistema posee en la parte posterior 8 modulos, donde se colocaran la tarjetas de swithing, las cuales con detectadas automáticamente por el equipo.

Estas tarjetas son de la familia NTC/3410, para nuestro proyecto utilizaremos NTC/3410 DA Audio Switcher y el NTC/ 3410 C3 Video Switcher.

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Fuente de Poder: 100-240V, 50/60Hz, 50Watts

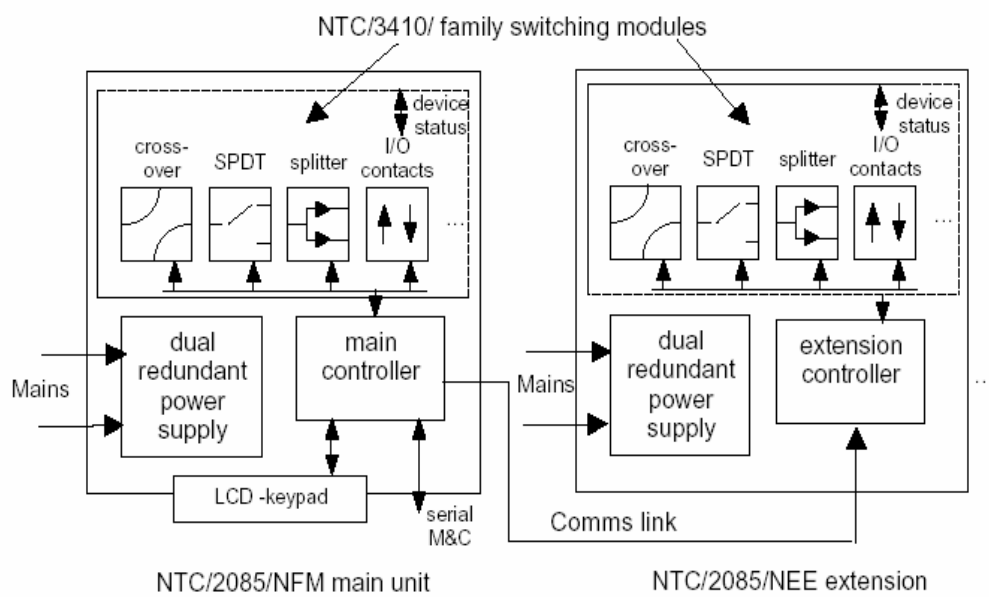


Figura 8.8 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SWITCH DE PROTECCION

8.7 VIDEO SWITCHER MARCA : NEWTEC NTC/3410.C3

TRIPLE COAX CROSS-OVER SWITCH MODULE

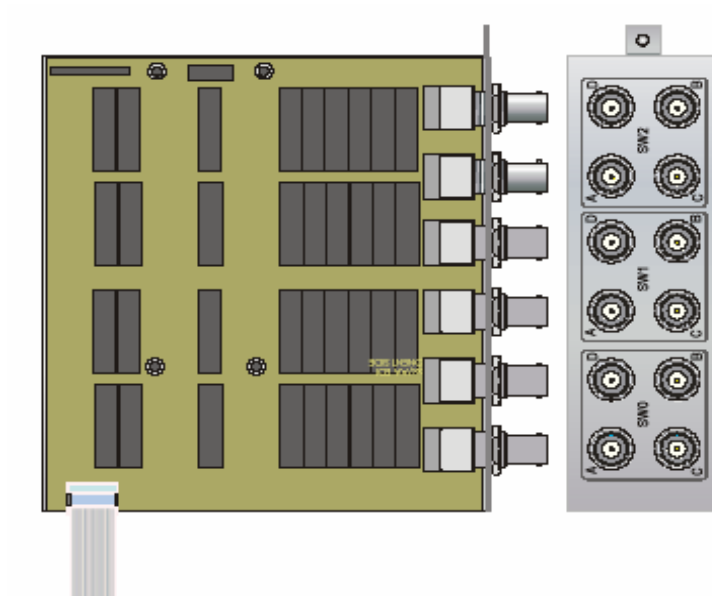


Figura 8.9 MODULO SWITCHING PARA VIDEO

El módulo NTC/3410.C3 es un miembro de la familia NTC/3410 switching modules que conforman el equipamiento del NTC/2085 . Estos módulos pueden fácilmente ser ajustados en el NTC/2085 sin necesidad de cable adicional. El módulo es automáticamente reconocido por el sistema y a su vez le asigna una dirección sin cualquier intervención del usuario.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tipo: cross-over

Conector: BNC (hembra) – 75 Ohm

Frecuencia: DC - 270 MHz

Perdida de inserción: < 2 dB

Isolation: > 50 dB (300 MHz)

Típico aplicación: señales de video ,
G.703, ASI, SSI and ECL BB-int.

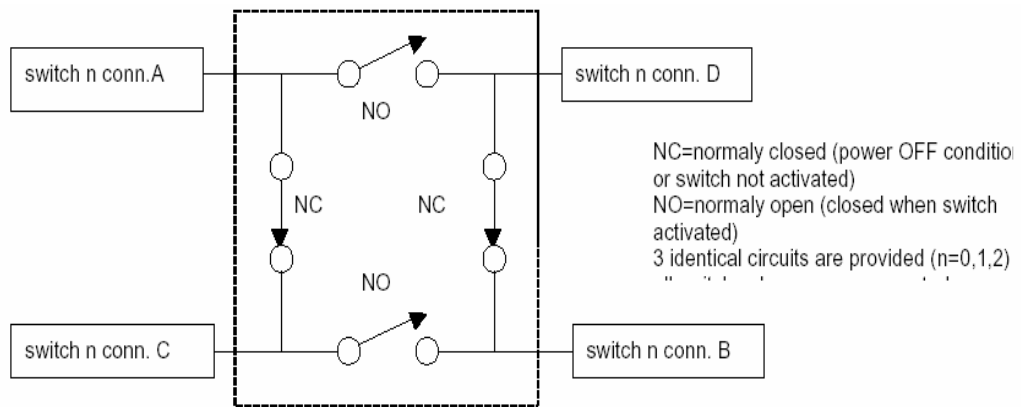


Figura 8.10 DIAGRAMA DE BLOQUES DE VIDEO SWITCHER

8.8 AUDIO SWITCHER MARCA : NEWTEC NTC/3410.DA

QUAD BALANCED AUDIO CROSS-OVER SWITCH MODULE

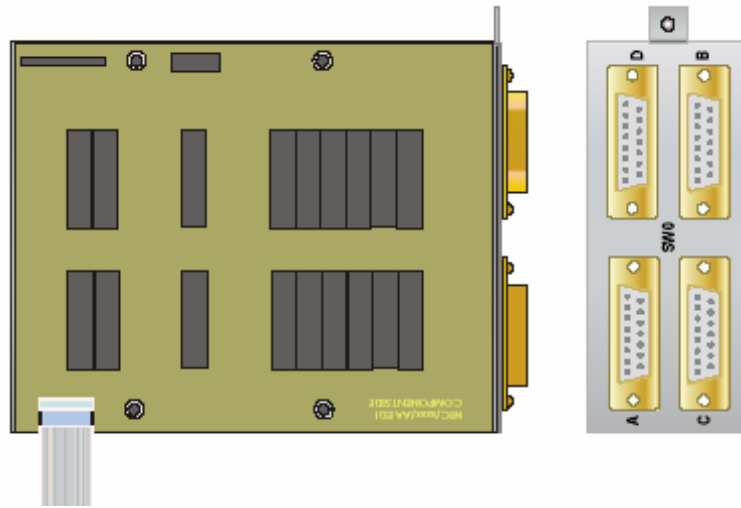


Figura 8.11 MODULO SWITCHING PARA AUDIO

El módulo NTC/3410 DA es un miembro de la familia NTC/3410 switching modules que conforman el equipamiento del NTC/2085 . Estos módulos pueden fácilmente ser ajustados en el NTC/2085 sin necesidad de cable adicional. El módulo es automáticamente reconocido por el sistema y a su vez le asigna una dirección sin cualquier intervención del usuario.

Los NTC/3410.DA proporcionan cross-over switching para cuatro señales de audio balanceadas . Los cuatro señales de audio se agrupa en un conector DB15, elemento pasivo que no introduce distorsión.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tipo: cross-over

Conector: DB 15 hembra

Frecuencia: DC - 3 MHz

Isolation: > 85 dB (20 kHz balanced)

>45dB (3MHz balanced)

Típico aplicación: Analog and digital audio (AESEBU)

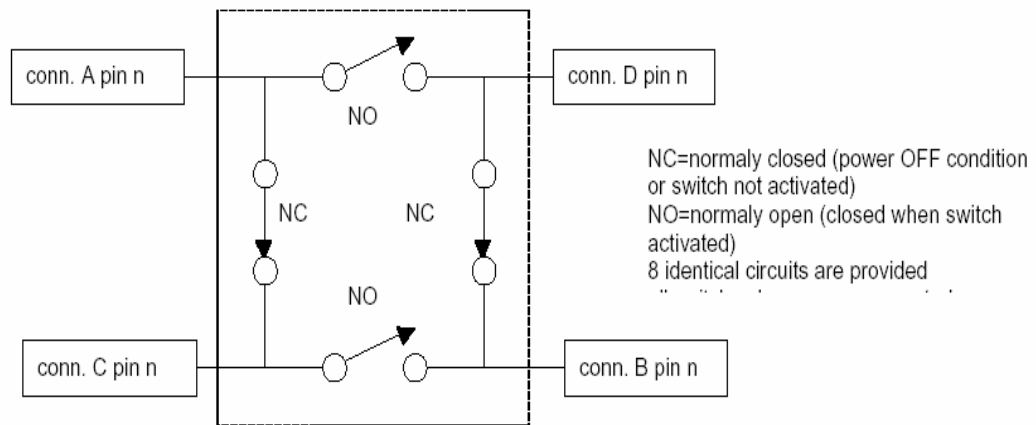


Figura 8.12 DIAGRAMA DE BLOQUES DE AUDIO SWITCHER

PIN ALLOCATION

pin 1 AUD0+

pin 2 screen0

pin 3 AUD1+

pin 4 screen1

pin 5 AUD2+

pin 6 screen2

pin 7 AUD3+

pin 8 screen 3

pin 9 AUD0-

pin10 GND

pin11 AUD1-

pin12 GND

pin13 AUD2-

pin14 GND

pin15 AUD3-

8.9 TRANSMISOR VHF MARCA : EMCEE

1/10 WATT VHF TELEVISIÓN TRANSMITTER/TRANSLATOR



Figura 8.13 TRANSMISOR VHF

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

Potencia de Salida: de 1 a 10 Watts dependiendo del modo de selección

Niveles de Entrada: Video 1 V P/P

Audio 0 dBm

Transmisión Color: Compatible con PAL, NTSC, SECAM

Frecuencia Salida: FCC 54-216 MHz-CCIR Banda I, III

Impedancia Entrada/Conector: Video 75 Ohms Tipo F

Audio 600 Ohms Tipo Screw Terminal

Impedancia Salida/Conector: 50 Ohms Tipo N

Frecuencia Tolerancia: Visual: 0.0015 %

Aural +`4.5 MHz -+ 1 KHz Relativo al Visual

Rendimiento Armónicos: Mejor que 60 dB debajo de la Sincronización de Cresta

Rendimiento Espurios: Mejor que 50 dB debajo de la Sincronización de Cresta

Distorsión Intermodulación: Mejor que 54 dB debajo de la Sincronización de Cresta

Diferencial Ganancia: 3% Máximo

Diferencial Fase: 3° Máximo

Requerimiento de energía: 115 VAC 60 Hz

Rango Temperatura Operación: -30° C a + 50° C

Dimensiones: 14" x 19 " x 25" 8 UR

Peso: 75 lbs

8.10 SISTEMA RADIANTE

8.10.1 ANTENA TRANSMISIÓN VHF MARCA: RYMSA AT13-223



Figura 8.14 ANTENA TRANSMISIÓN VHF BANDA III

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Antena Unitaria:	AT13-223
Rango de Frecuencias:	174 - 230 MHz
Número de pisos:	1
Numero de Antenas:	2
Configuración Azimutal:	1P (0°) – 1P(120°)
VSWR Max:	<1.2 en el canal
Polarizacion:	Horizontal
Diagrama de Radiación:	Direccional

Ganancia Máxima (dBd) @ Frec. Diseño (199.25 MHz) : 3.94 dBd

Máxima Potencia admisible del sistema (VSWR 1.2): 1.5 Kw @ 230 MHz

Conector de Entrada: N Hembra

Pérdidas de inserción sistema de distribución: 0.20 dB

Altura del Sistema (Aprox.): 1.3 metros

Dimensiones antena: 1,300 x 1,000 x 530 mm

Peso aprox. del sistema (solo paneles): 90 Kg

Carga al viento estimada @ 160 Km/h: 1.6 KN

Máxima Velocidad de Viento: 200 Km/h

A.S.: ESPOL
SISTEMA RADIANTE C/11
Frequency: 199.25 MHz
Elevation: 0 °
Gain: 3.94 dBd

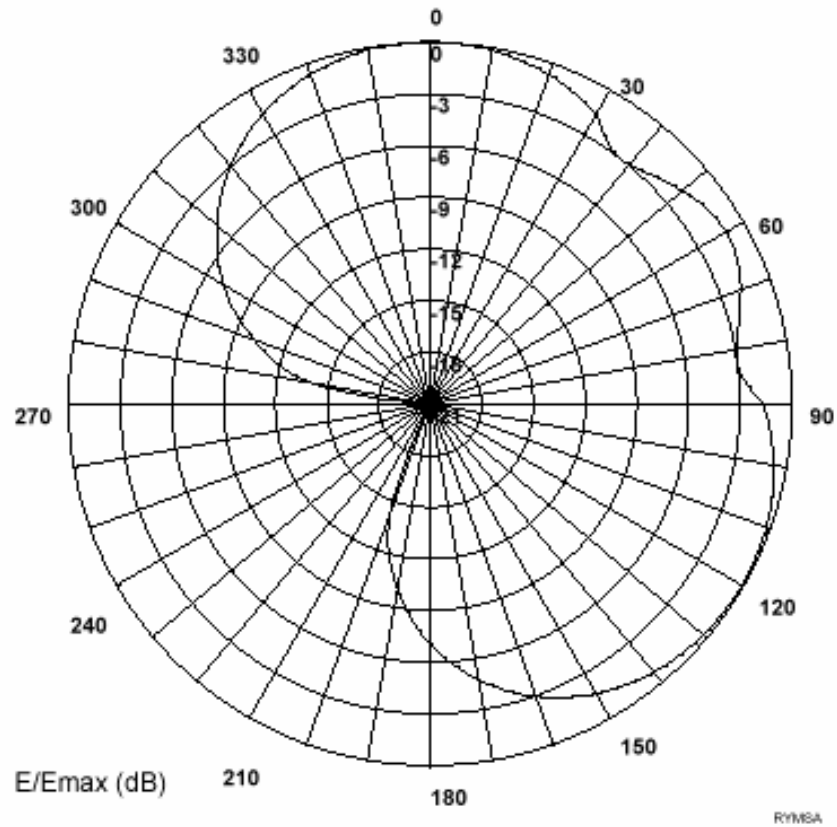


Figura 8.15 DIAGRAMA RADIACION HORIZONTAL

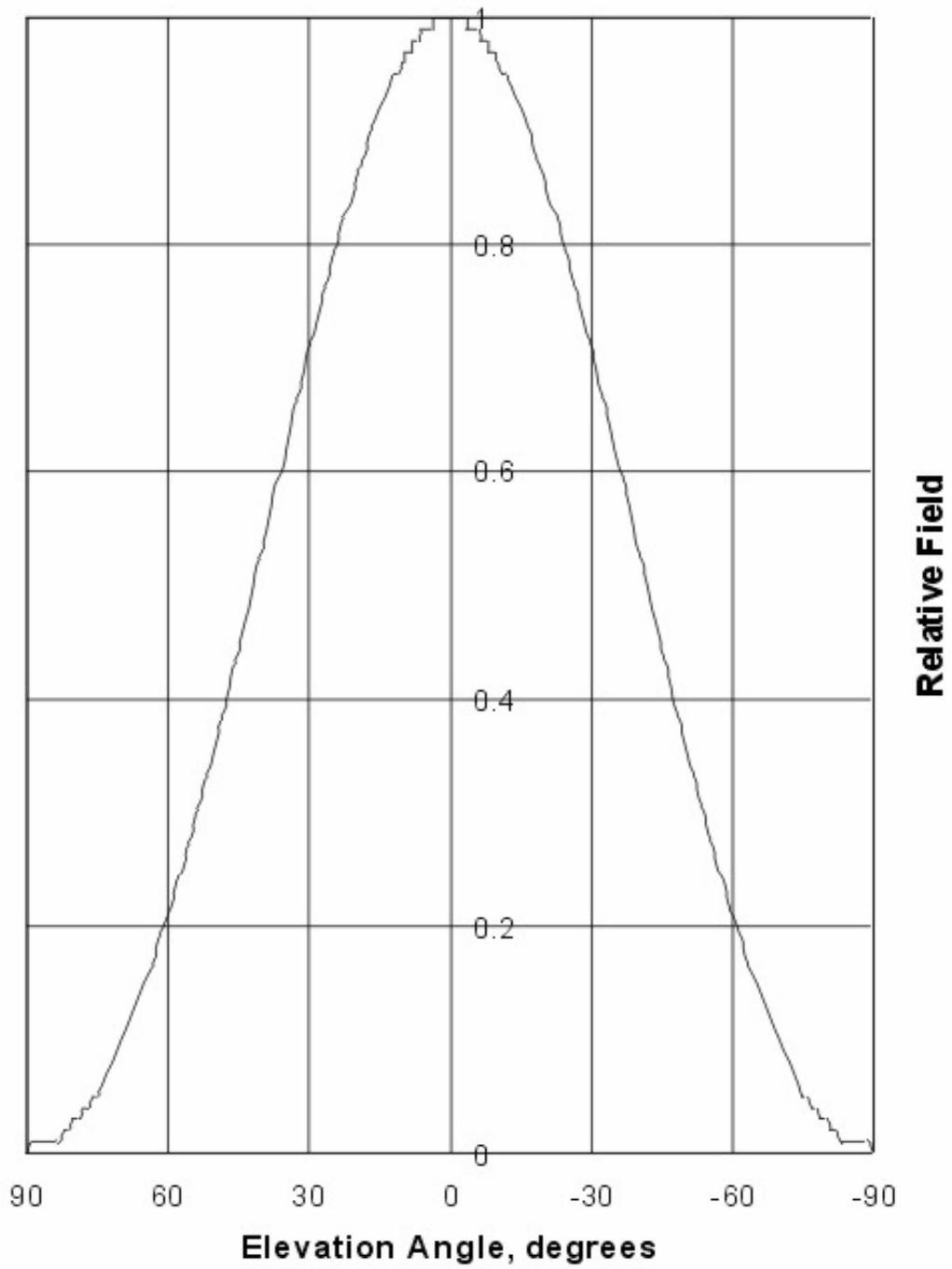


Figura 8.16 DIAGRAMA RADIACIÓN VERTICAL

81°	82°	83°	84°	85°	86°	87°	88°	89°	90°										
0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0										
61°	62°	63°	64°	65°	66°	67°	68°	69°	70°	71°	72°	73°	74°	75°	76°	77°	78°	79°	80°
0.2	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
41°	42°	43°	44°	45°	46°	47°	48°	49°	50°	51°	52°	53°	54°	55°	56°	57°	58°	59°	60°
0.52	0.5	0.48	0.46	0.44	0.43	0.41	0.39	0.38	0.36	0.34	0.33	0.31	0.3	0.28	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21
21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	33°	34°	35°	36°	37°	38°	39°	40°
0.84	0.83	0.82	0.8	0.79	0.77	0.76	0.74	0.72	0.71	0.69	0.67	0.66	0.64	0.62	0.6	0.59	0.57	0.55	0.53
8.2°	8.4°	8.6°	8.8°	9°	9.2°	9.4°	9.6°	9.8°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°
0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.9	0.88	0.87	0.86
4.2°	4.4°	4.6°	4.8°	5°	5.2°	5.4°	5.6°	5.8°	6°	6.2°	6.4°	6.6°	6.8°	7°	7.2°	7.4°	7.6°	7.8°	8°
0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
0.2°	0.4°	0.6°	0.8°	1°	1.2°	1.4°	1.6°	1.8°	2°	2.2°	2.4°	2.6°	2.8°	3°	3.2°	3.4°	3.6°	3.8°	4°
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.99	0.99

Tabla 8.1 VALORES DE ANGULOS DE ELEVACIÓN (A)

0°																			
1																			
-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8	-2	-2.2	-2.4	-2.6	-2.8	-3	-3.2	-3.4	-3.6	-3.8	-4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.99	0.99
-4.2	-4.4	-4.6	-4.8	-5	-5.2	-5.4	-5.6	-5.8	-6	-6.2	-6.4	-6.6	-6.8	-7	-7.2	-7.4	-7.6	-7.8	-8
0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
-8.2	-8.4	-8.6	-8.8	-9	-9.2	-9.4	-9.6	-9.8	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20
0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.9	0.88	0.87	0.86
-21	-22	-23	-24	-25	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-32	-33	-34	-35	-36	-37	-38	-39	-40
0.84	0.83	0.82	0.8	0.79	0.77	0.76	0.74	0.72	0.71	0.69	0.67	0.66	0.64	0.62	0.6	0.59	0.57	0.55	0.53
-41	-42	-43	-44	-45	-46	-47	-48	-49	-50	-51	-52	-53	-54	-55	-56	-57	-58	-59	-60
0.52	0.5	0.48	0.46	0.44	0.43	0.41	0.39	0.38	0.36	0.34	0.33	0.31	0.3	0.28	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21
-61	-62	-63	-64	-65	-66	-67	-68	-69	-70	-71	-72	-73	-74	-75	-76	-77	-78	-79	-80
0.2	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
-81	-82	-83	-84	-85	-86	-87	-88	-89	-90										
0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0										

Tabla 8.1 VALORES DE ANGULOS DE ELEVACIÓN (B)

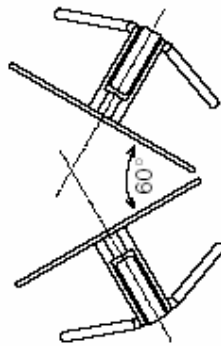


Figura 8.17 SEPARACION ENTRE ANTENAS

Numero de Pisos	Numero de Ant por Pisos	Ganancia (dBd)	Peso (Kg)	Carga Viento 160Km/h	Altura del Sistema (m)
1	1	7.00	45	1.0 KN	1300
	2	3.99	90	1.6 KN	
	3	2.23	135	2.3 KN	
2	1	10.01	90	2.0 KN	2900
	2	7.00	180	3.2 KN	
	3	5.24	270	4.6 KN	
4	1	13.02	180	3.0 KN	6100
	2	10.01	360	6.4 KN	
	3	8.25	540	9.1 KN	
6	1	14.78	270	6.0 KN	9300
	2	11.77	540	21.0 KN	
	3	10.01	810	29.8 KN	
8	1	16.03	360	8.0 KN	12500
	2	13.02	720	27.8 KN	
	3	11.26	1080	39.8 KN	

Tabla 8.2 CARACTERISTICAS DEL SISTEMAS DE ANTENAS

8.10.2 DIVISOR SIMÉTRICO POTENCIA MARCA: RYMSA DT13-112



Figura 8.18 DIVISOR DE POTENCIA

RANGO FRECUENCIA	174-230 MHz
IMPEDANCIA (OHMS)	50
VSWR	< 1.05:1
ENERGIA DESBALANCEADA ENTRE PUERTOS SALIDA	± 0.2 dB
FASE DESBALANCEADA ENTRE PUERTOS SALIDA	$\pm 1^\circ$

Tabla 8.3 CARACTERISTICAS DIVISOR SIMÉTRICO POTENCIA

8.10.3 CABLES SISTEMA RADIANTE MARCA: LCF 12-50J CELLFLEX 1/2"



Figura 8.19 CABLE CELLFLEX 1/2"

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tamaño : 1/2 "

Perdida Retorno (VSWR) : Estándar

Pérdida de Retorno máximo, dB (VSWR) : 18 dB (1.29:1 VSWR)

Impedancia: 50 +/- 1 Ohms

Frecuencia Máxima: 8.8 Ghz

Velocidad : 88 %

Poder Cresta: 38 KW

Conductor Resistencia dc interno, ohm/1000 m,

ohm/1000 ft) : 1.57 (0.48)

Conductor Resistencia dc exterior, ohm/1000 m,

Ohm/1000 ft) : 1.93 (0.59)

RF Cresta Voltaje: 1950 Voltios

Voltio RMS: 8000

Capacitancia , pF/m (pF/ft): 76.0 (23.2)

Inductancia, μ H/m (μ H/ft) : 0.190 (0.058)

Diámetro encima del Nominal, mm (in) : 16.2 (0.64)

Diámetro el Conductor Exterior Cobre mm (in) : 13.8 (0.54)

Diámetro el Conductor Interno, mm (in) : 4.8 (0.190)

Diámetro Dieléctrico , mm (in) : 11.3 (0.44)

Radio del Torcimiento mínimo, Sola Curvatura, el mm (in) : 70 (3)

Radio del Torcimiento mínimo, Curvaturas Repetidas, mm (in) : 125 (5)

Peso del cable, kg/m (lb/ft) : 0.22 (0.15)

Fuerza tensor, N (lb) : 1100 (247)

Temperatura de la instalación, °C(°F) : -40 a +60 (-40 a +140)

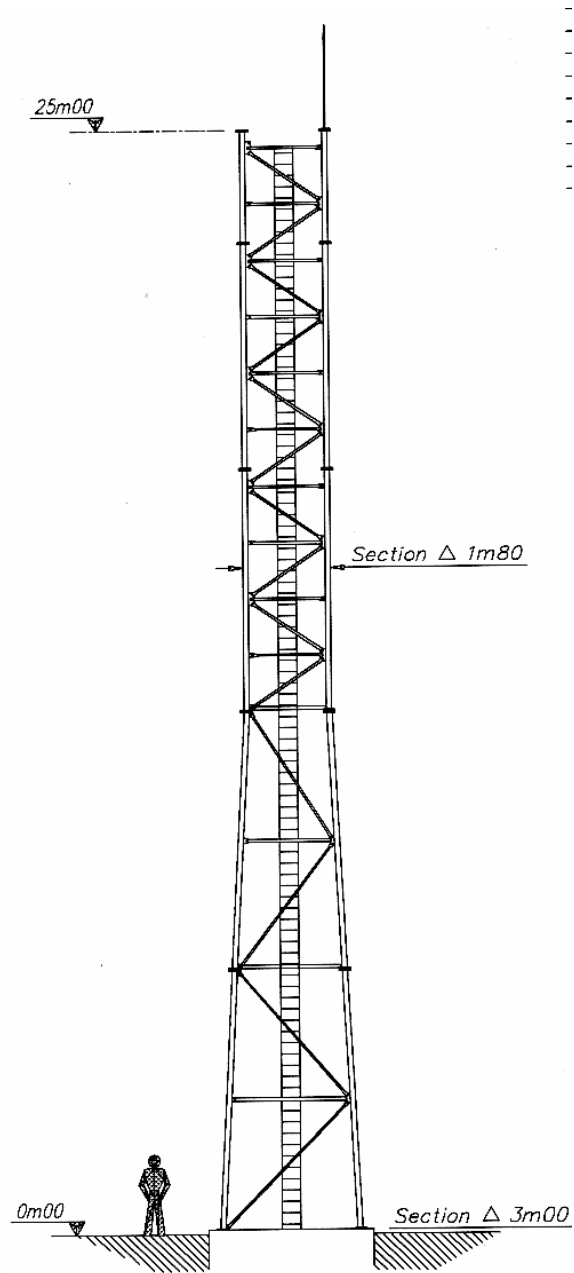
Temperatura del almacenamiento, °C (°F) : -40 a +85 (-40 a +185)

Temperatura del funcionamiento, °C(°F) : -40 a +85 (-40 a +185)

FRECUENCIA MHZ	ATENUACION dB/100 m	ATENUACION dB/100 ft	POTENCIA PROMEDIO KW
100	2.16	0.658	3.94
108	2.24	0.684	3.78
150	2.66	0.810	3.20
174	2.87	0.875	2.96
200	3.08	0.940	2.28
300	3.81	1.160	2.23

Tabla 8.4 VALORES DE ATENUACIÓN DEL CABLE CELLFLEX ½”

8.10.4 TORRE DE TRANSMISION



BA50SIC WIND SPEEDM = 160 Km/h
MAXI TWIST AND SWAY + - 20' - WITH WIND = 120 Km/h
EQUIVALENT AREA FOR ANTENA AT THE TOP = 10 m2

Figura 8.20 TORRE DE COMUNICACIONES 25 Mts

8.11 CONECTORES

8.11.1 CONECTOR F MACHO PARA RG-6 CLIMPAR

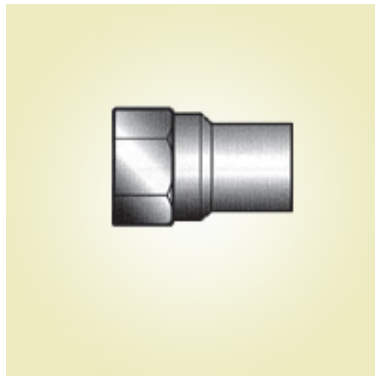


Figura 8.21 CONECTOR F MACHO

8.11.2 CONECTOR BNC MACHO PARA RG-59



Figura 8.22 CONECTOR BNC MACHO

8.11.3 CONECTOR XLR



Figura 8.23 CONECTOR XLR MACHO Y HEMBRA

8.11.4 CONECTOR RCA

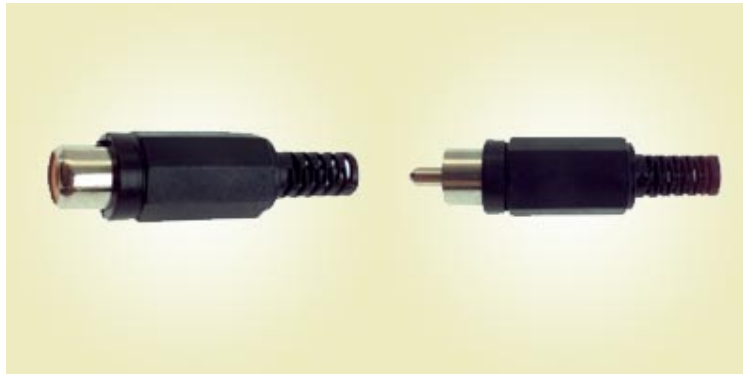


Figura 8.24 CONECTORES RCA HEMBRA Y MACHO

8.11.5 ADAPTADOR F (HEMBRA) A RCA (MACHO)



Figura 8.25 ADAPTADOR F A RCA

8.11.6 CONECTOR N



Figura 8.26 CONECTOR N MACHO

8.11.7 CONECTOR DIN 7/16



Figura 8.27 CONECTOR DIN 7/16 MACHO

8.11.8 BLOQUES PARA ATERRIZAJE DE CABLES COAXIALES.



Figura 8.28 ATERRIZAJE DE COAXIALES

8.12 CABLES

8.12.1 CABLE RG-59 CATV

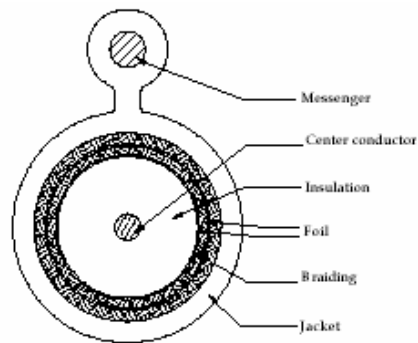


Figura 8.29 CABLE RG-59 CATV

Fuerza de Dieléctrico (kV/min) : 1.0

Impedancia (± 3.0 ohms) : 75.0

SRL (dB,5~1000MHz) : ≥ 20

Capacitancia (pF/m) : 53.1

Conductor DCR @ 20oC (ohms/km) : ≤ 188

Velocidad De Propagación (%) : ≥ 82

FRECUENCIA (MHz)	ATENUACION (dB/100 m)
5	4.00
55	6.76
211	12.93
250	14.10
270	14.67
300	15.49
330	16.27
350	16.79
400	17.98
450	19.13
500	20.20
550	21.23
600	22.27
750	25.00
870	27.03
1000	29.10

Tabla 8.5 VALORES DE ATENUACIÓN PARA CABLE RG-59

8.12.2 CABLE RG-6 CATV

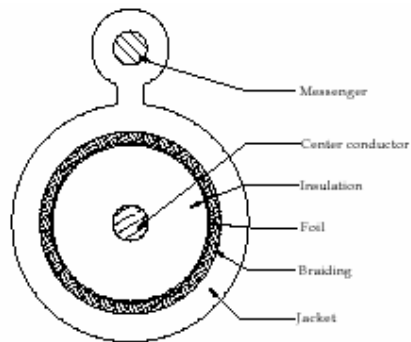


Figura 8.30 CABLE RG-6 CATV

Fuerza de Dieléctrico (kV/min) : 1.0

Impedancia (± 3.0 ohms) : 75.0

SRL (dB,5~1000MHz) : ≥ 20

Capacitancia (pF/m) : 53.1

Conductor DCR @ 20oC (ohms/km) : ≤ 119

Velocidad De Propagación (%) : ≥ 82

FRECUENCIA (MHz)	ATENUACION (dB/100 m)
5	2.66
55	5.25
211	10.10
250	11.02
270	11.48
300	12.14
330	12.76
350	13.15
400	14.11
450	15.30
500	15.88
550	16.70
600	17.52
750	19.69
870	21.33
1000	22.97

Tabla 8.6 VALORES DE ATENUACIÓN PARA CABLE RG-6

8.12.3 CABLE HELIAX ½ “

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tamaño: ½ “

Perdida Retorno (VSWR) : Estándar

Pérdida de Retorno máximo, dB (VSWR) : 18 dB (1.29:1 VSWR)

Impedancia: 75 ± 2 Ohms

Frecuencia Máxima: 11.5 Ghz

Velocidad : 81 %

Poder Cresta: 10 KW

Conductor Resistencia dc interno, ohm/1000 m,

(ohm/1000 ft) : 1.50 (4.9)

Conductor Resistencia dc exterior, ohm/1000 m,

(Ohm/1000 ft) : 1.00 (3.28)

RF Cresta Voltaje: 2500 Voltios

Voltio RMS: 5000

Capacitancia , pF/m (pF/ft): 54.9 (16.7)

Inductancia, µH/m (µH/ft) : 0.309 (0.094)

Diámetro encima del Nominal, mm (in) : 13.2 (0.52)

Diámetro el Conductor Exterior Cobre mm (in) : 12.2 (0.48)

Diámetro el Conductor Interno, mm (in) : 3.0 (0.118)

Diámetro Dieléctrico , mm (in) : 11.3 (0.44)

Radio del Torcimiento mínimo, Sola Curvatura, el mm (in) : 70 (3)

Radio del Torcimiento mínimo, Curvaturas Repetidas, mm (in) : 125 (5)

Peso del cable, kg/m (lb/ft) : 0.21 (0.14)

Fuerza tensor, N (lb) : 1100 (247)

FRECUENCIA MHZ	ATENUACION dB/100 ft	ATENUACION dB/100 m	POTENCIA PROMEDIO KW
100	0.958	3.14	1.77
108	0.997	3.27	1.70
150	1.19	3.89	1.43
174	1.28	4.21	1.32
200	1.38	4.53	1.23
300	1.72	5.63	0.989
400	2.01	6.58	0.846

Tabla 8.7 VALORES DE ATENUACION PARA CABLE HELIAX ½"

8.13 UPS MARCA: TRIPP-LITE SUINT1000RT2U



Figura 8.31 UPS TRIPP-LITE

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Voltaje Nominal: 200, 208, 220, 230, 240 Voltios

Frecuencia Nominal: Compatible con 50 / 60 Hz

Capacidad de Voltaje en Amp: 1000

Capacidad en Watts: 800 W

Regulación Frecuencia Salida: +/- 0.05 Hz

Cantidad Tomas de Corriente soportadas por el UPS: 6

Administración de Cargas: 2 banco de carga , Banco A de 2 tomas

Banco B de 4 tomas

Protección contra Sobrecargas: Interruptor incorporado de 8 Amp

Amp/Watts máximos de entrada: 4.9 A-200V / 4.7 A-208V / 4.4 A-220V / 4.2

A-230V/4.1 A-240V / 978 Watts máximo

Voltaje del Sistema de CC: 36 V CC

Vida útil Baterías: de 3-6 años

Humedad Relativa: 0 a 95 % sin condensación

Emisiones BTU: 90 Btu/h

Dimensiones: 2 UR

8.14 WAVEFORM MONITOR MARCA: LEADER 5222 NTSC/PAL/SECAM



Figura 8.32 WAVE FORM MONITOR

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Compatible con NTSC, PAL, SECAM.

Selección Full Line 525 Líneas / 60 Hz o 625 Líneas / 50 Hz.

Y/C Monitoreo

X-Y Operación (opcional)

Lecturas niveles de cursor en voltios; IRE; % y dB

Fuente de Poder (90-250 V; 48-440 Hz 40 Watt)

Numero de Canales 8 (4x4 loop-through)

Impedancia Entrada: 15 K Ω (75 Ω loop-through)

Impedancia Salida: 75 Ω

Seccion Vertical

Exactitud: $\pm 1\%$ a las X1, $\pm 2\%$ X5 ; $\pm 0.5\%$ la medida del cursor

Respuesta frecuencia piso: $\pm 2\%$ 25 Hz a 6 MHz

Luminancia: > 35 dB at 3.58 MHz a 4.43 MHz

Chroma: NTSC: 2.2 MHz \pm 200 kHz bandpass

PAL: 2.4 MHz \pm 200 kHz bandpass

Seccion Horizontal

Barra Modos: 1H, 1V, 2V, 1H/2V combo, 1 μ s/div (X10 con respecto a 2H)

0.2 μ s/div (X25 con respecto a 1H)

V MAG (X20 con respecto a 1 o 2 V)

Exactitud: $\pm 3\%$ a 1 μ s/div, $\pm 3\%$ a 0.2 μ s/div

Barra Longitud: RGB (3 pasos) 3.4 a 4.1 div

YRGB (4 pasos) 2.5 a 3.1 div

Físicas: Tamaño (W x H x D) (8 1/2 x 5 1/4 x 16 3/4 in) (215 x 132 x 423 mm)

Peso: 9.2 lbs., 4.2 kg

Temperatura Operación: 0 a 40°C (32 a 104°F)

8.15 RACK MARCA: UNICOM



Figura 8.33 RACK DE COMUNICACIONES Y BANDEJA

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Rack abierto

Rack de 19" de Aluminio.

Autolineador que puede soportar a 500 Lbs con distribución de peso apropiado

Base cuadrangular fija

Viene en dos modelos de 4' Y 7'

Con opción a utilización de bandejas

Color: Negro y Gris

8.16 ACONDICIONADOR DE AIRE 14000 BTU

MARCA: SAMSUNG AW14FAMB



Figura 8.34 AIRE ACONDICIONADO

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Dos Velocidades de Ventilación

Tres Velocidades de Enfriamiento

Auto-oscilación del aire

Control de Corriente Aire

Enfriamiento de 1400 BTU/Hr

Circulación del Aire 427 m³/min

Cap. de Des humidificación 3.5 lt/hr

Peso Neto 60 Kg

Nivel de Ruido Máximo 56/62 dB

Voltaje 220 V / 60 Hz

Dimensiones 660x425x730 mm

8.17 TELEVISOR 13' MARCA: PANASONIC CT-13R17B



Figura 8.35 TELEVISOR PANASONIC

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Aspect Ratio: 4:3 (Estándar)

Parlantes 1.

Parlantes Potencia por canal: 1W (20Hz-20kHz, 8 Ohms, 10% THD)

Entradas Audio/Video 1 tipo jacks (frontal)

Antena : Incluida

Auto encendido

Lenguajes: español,ingles,frances

Numero de canales: 181

Sleep Timer

Dimensiones (H x W x D) 12.6" x 14.3" x 14.2"

Peso: 20.9 lb

Energia: 120V 65 Watts

8.18 ANTENA VHF MARCA: WINEGARD

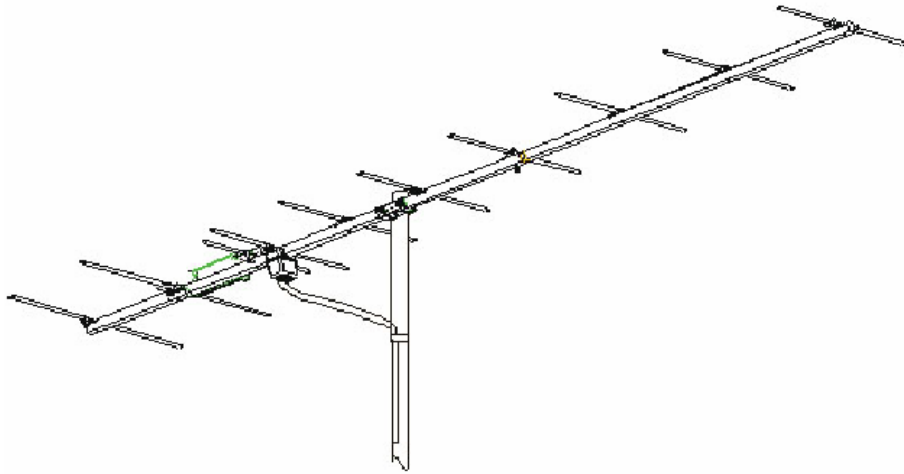


Figura 8.37 ANTENA YAGI

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Elementos activos:	10
Longitud :	99.875"
Radio Turning:	61"
Ancho Máximo:	35"
Altura Vertical:	3"
Diámetro del Elemento:	3/8"
Peso Neto:	3.25 lbs
Dimensiones:	6,25"x6,25"x59"
Impedancia Salida:	75 Ohms

CANAL	CH.7	CH.9	CH.11	CH.13
dB ganancia sobre dipolo referencia	9.1	10	10	10.3
Ancho Lob. A mitad de puntos poder	56°	55°	47°	40°
Radio de frente a atrás en dB	10.5	18	19	14

Tabla 8.8 VALORES PARA CANALES 7,9,11,13

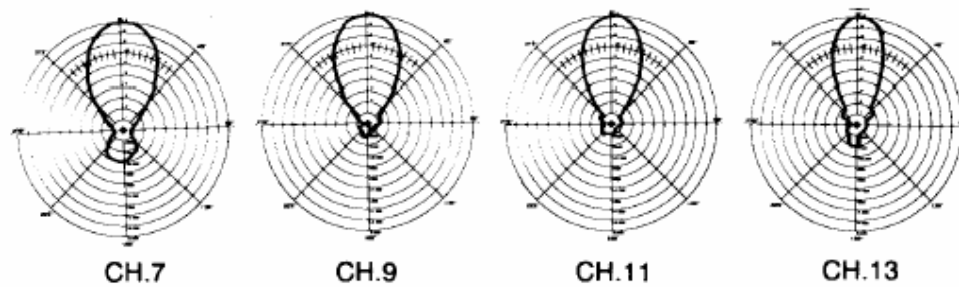


Figura 8.37 MODELOS POLARES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

[1] CONCLUSIONES.

Después de analizar minuciosamente los resultados obtenidos al culminar el proyecto, determinamos los siguientes:

Refiriéndonos a la antena parabólica, a pesar de haber elegido el mínimo tamaño requerido para satisfacer las condiciones de umbral del enlace satelital, la antena de 3.8 metros que elegimos nos permite obtener un nivel de 0.7 dB por encima del umbral E_b/N_0 exigido de 5.9 dB. Es decir que obtendremos un B.E.R ligeramente mejor que 10^{-10} y aún así nos garantiza una buena calidad de nivel de señal.

Pero recordemos que los cálculos se realizaron considerando las peores condiciones de degradación de enlace, por tanto podemos asegurar que en condiciones de cielo despejado obtendremos un B.E.R $> 10^{-10}$. En otras palabras, el nivel de señal de portadora que se espera tener en las mejores condiciones del enlace satelital será excelente.

Lo anterior también se corrobora al analizar el nivel de señal que ingresa al demodulador del IRD-DVB, el cual está por encima del mínimo nivel

requerido (-65 dBm según el fabricante) en 20 dB, aproximadamente, y aún en las peores condiciones de degradación del enlace satelital. Lo que comprueba que tendremos un mejor nivel de señal IFL a la entrada del demodulador IRD cuando tengamos condiciones de cielo despejado.

Analizando los cálculos concernientes al transmisor, vimos que para tener una buena calidad de señal hubiera sido necesario solamente un transmisor de 6 watts, pero hay que recordar que los cálculos no tomaron en consideración las pérdidas debido a la línea de transmisión, lluvia, reflexión del terreno, etc., y que se utilizó también la antena isotrópica para dichos cálculos. Por lo tanto para considerar las pérdidas no involucradas elegimos un nivel de potencia mucho mayor, de tal forma que cualquier pérdida que afecte a la señal de televisión transmitida, no provoque una disminución severa de la calidad de señal receptada por los televisores de los usuarios. De esta manera, tentativamente pudimos escoger el nivel de 25 watts, pero para optimizar económicamente el proyecto se eligió el de 10 watts, ya que no existen capacidades de 15 watts en el mercado.

Como se demostró, el sistema radiante proporcionado por RYMSA si satisface las condiciones de cobertura de la ciudad tanto verticalmente como acimutalmente. Es decir, que los patrones de radiación horizontal (tipo cardioide) y vertical del arreglo de antenas recomendado si logran cubrir

completamente a la comunidad de Puerto Baquerizo Moreno y no es necesario pedirle al fabricante que realice una inclinación electrónica del haz ni que realice rellenos de nulos al mismo.

Y como se esperaba, el nivel de señal recibido por los usuarios en sus receptores siempre será de buena calidad (clase principal), aún cuando el transmisor trabajase al 50% de su capacidad nominal y / o existiera algún factor que produzca pérdidas, como la lluvia. Esto es muy importante, ya que la Superintendencia de Telecomunicaciones de nuestro país exige que se cumpla lo antes dicho.

[2] RECOMENDACIONES.

A pesar de que no se necesita una inclinación electrónica del haz de elevación del sistema radiante, si se tomara la decisión de inclinar el haz vertical para tratar de mejorar la cobertura de la ciudad, esta sería posible solo mecánicamente. Es decir, que los dipolos de ambas antenas deberán moverse hacia abajo tantos grados de inclinación se desee, de tal manera que se satisfagan las condiciones buscadas.

La instalación de cada equipo (incluido el del sistema de protección, las antenas y el equipo de enfriamiento), así como la puesta a tierra de los mismos, deberán realizarse de acuerdo a las recomendaciones de cada fabricante.

Pero además proponemos las condiciones y equipamiento que deben también de existir son las siguientes:

Iluminación suficiente para garantizar la manipulación de todas y cada una de las antenas y del LNB en caso de ajuste o avería en las horas nocturnas.

Toma de tierra adecuada para todas las antenas con el fin de evitar cargas estáticas que puedan dañar el LNB y que eviten descargas a los operarios encargados del mantenimiento y en general de cualquier persona que pueda transitar por la zona.

Deberá existir un pararrayos que proteja a todas las antenas, incluidas las terrestres, de estas descargas eléctricas y que evitará el deterioro de los equipos en el caso de producirse este fenómeno.

Se dotará a cada antena de 1 toma de tensión alterna de 120 V a 60Hz con su correspondiente conexión a tierra preparadas para la intemperie que

permitan alimentar equipos de medida, herramientas eléctricas, alimentación auxiliar etc. El cuadro eléctrico que de servicio a estos enchufes deberá ser totalmente independiente del cuadro eléctrico que de servicio al cuarto de equipos.

Los cables de tierra deben ser grandes (mínimo AWG #6) y estar tendidos en línea recta, a fin de que sean mínimas la inductancia y la caída de tensión. El radio de curvatura recomendado es de 6" si resulta imposible el tendido en línea recta. Los cables de tierra de los equipos deben estar separados de todos los otros conductores y no deben pasar por conductos de metal, a menos que este último esté conectado a tierra en ambos extremos.

Para la puesta a tierra que se realizó en este proyecto, se asumió que la resistividad del suelo en el lugar donde se implantará la estación San Cristóbal es muy buena, es decir muy baja. Pero recomendamos que antes de realizar la puesta a tierra de todo el sistema, se realice el análisis respectivo de la resistividad del suelo y los respectivos cálculos de puesta a tierra por una persona experta en este campo. La resistividad del suelo deberá ser de 5 ohms por metro o menos, aunque también es aceptable un valor de 20 ohms por metro.

Si no se cumplen los niveles de aceptación de la resistividad del terreno, entonces se deberá tratar químicamente el suelo con material salino para disminuir la resistividad del suelo a niveles deseables.

Volvemos a insistir en que los trabajos de obra civil y eléctrica deben realizarse junto con ingenieros especializados en electricidad y obra civil, y que además sean colegiados, de tal manera que se realicen los trabajos de acuerdo a las normalizaciones eléctricas y de construcción como mandan las leyes en estos casos.

Se debe realizar un mantenimiento periódico de todo el sistema en general por lo menos una vez cada año, aunque lo más aconsejable debe de ser cada 6 meses. Esto es con la finalidad de conservar siempre el perfecto funcionamiento de todos los equipos y elementos involucrados.

En lo concerniente a la puesta a tierra, se debe inspeccionar periódicamente la calidad del suelo, sobre todo en las épocas de sequía o de pocas lluvias, de tal forma se controle que la resistividad del mismo no haya aumentado. Y si esto último fuese el caso, deberá tratarse el suelo químicamente con materiales salinos, asesorados por un experto, tal como se mencionara anteriormente.

BIBLIOGRAFIA

[A] TEXTOS:

[1] Henry Jasik: Antenna Engineering Handbook. McGraw – Hill Book Company, New York, Primera Edición, 1961.

[2] Keith Henney: Radio Engineering Handbook, McGraw – Hill Book Company, New York, Quinta Edición, 1959.

[3] Howard W. Sams & Co., Inc.: Reference Data for Radio Engineers, International Telephone and Telegraph Corporation (ITT), Quinta Edición, 1974.

[4] Intelsat Co.: Earth Station Technology Handbook, Intelsat's Assistance and Development Program (IADP), Quinta Edición, 1999.

[5] Warren L. Stutzman and Gary A. Thiele: Antenna Theory and Design, John Wiley & Sons, New York, 1981, pp. 1 – 167.

[6] Carlos Rosado: Comunicación por Satélite, Asociación Hispanoamericana de Centros de Investigación y Empresas de Telecomunicaciones (AHCJET), Primera Edición, 1998.

[7] Pritchard Wilbur L. and Sciulli J.: Satellite Communications Systems Engineering, Prentice – Hall Inc., Englewood Cliff, New Jersey, 1986.

[8] Lewis Geoffrey E.: Communication Services Via Satellite (A Handbook of Design, Installation and Service Engineers), Second Edition, Jordan Hill, Oxford 1988.

[9] Bernard Grob: Televisión Práctica, Marcombo Boixareu Editores, Barcelona, España, Segunda Edición, 1987.

[10] Wayne Tomasi: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, (Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., México, Segunda Edición, 1996), Cáp. 8 -18.

[11] Apuntes del tópico de graduación: Televisión Analógica y Digital.

[12] M. Kaufman, A. H. Seidman and P. J. Sheneman: Electrónica Práctica Moderna, Tomo 3, Cáp. 20, New York, Mc Graw-Hill, 1990.

[13] A. W. Rudge, K. Milne. A. D. Olver and P. Knight: *The Handbook of Antenna Desing, Volume 2*, Cáp. 17, British Library Cataloguing in Publication Data, England, 1983.

[B] REFERENCIAS DE INTERNET:

[1] Barry Mc. Larnon: *VHF/UHF/Microwave Radio Propagation* (A Primer Of Digital Experimenters), 1997.

www.tapr.org/tapr/html/ve3jf.dcc97/ve3jf.dcc97.html

[2] Miguel V. Sánchez, Darío S. Peris, Rafa B. Mercé, Adolfo A Blázquez: *Un Paseo Espacial de la mano de los Satélites de TV* (Universidad Politécnica de Valencia),

www.upv.es/satelite/trabajos/sat_tv/cara1.htm

[3] Michael Silbergleid: *Understanding Digital*.

www.digitaltelevision.com/publish/dtvbook/toc.shtml

[4] Color Television, NTSC Tutorials: *Television Engineering*, 2002.

www.ntsc-tv.com/ntsc-index-01.htm

[5] Digital Video Broadcast: www.dvb.org

[6] Antonio Berlanga Atienza: *Diseño de los Sistemas de Captación, Procesado y Transmisión de Señales en una Cabecera Analógica / Digital para la prestación de Servicio de Televisión por Cable*, Cáp. 4. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid.

<http://berlanga.iies.es/pfc/4.htm#4>

[7] Eutelsat, Technical Guide: *Recommended Transmission Parameters For DVB Broadcasters and Operators of DVB Multiplexes Using The Eutelsat Hot Bird System*, June 7, 1999.

www.eutelsat.com/satellites/pdf/Diseqc/Reference%20docs/recom_trans_para_broadcasters&operators_DVB_multiplexes_using_EUTELSAT_syst.pdf

[8] Eutelsat, Technical Guide: *Information for Installers of Hot Bird DVB-S Systems*, Version 1.0, June 7, 1999.

www.eutelsat.com/satellites/pdf/dealers/info_installers_hot_bird_dvbs.pdf

[9] Eutelsat, Technical Guide: *Annex B Overview Of DVB*, June 7, 1999.

www.eutelsat.com/satellites/pdf/tvservices/annex_b_DVB.pdf

[10] Eutelsat, Technical Guide: Technical Recommendations For Manufactures of DTH and SMATV Digital Receiving Equipment, Version 1.0, June 7, 1999.

www.eutelsat.com/satellites/pdf/equipment/Tech_recom_dth_smatv_dig_rec_eq.pdf

[11] American Forces Radio and Television Service Broadcast Center Satellite Handbook V.2.03, Appendix B, Technical Reference.

www.afrts.osd.mil/tech_info/handbook/appendix-b.pdf,

[12] Sica News, Instalación de Antenas Satelitales,2002

ww.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/2002terc/tecnologia/sica83.html

[13] INTELSAT, Normas de Estaciones Terrenas: Estaciones Terrenas Tipo G, Características de Funcionamiento de las Estaciones Terrenas cuyas Normas No correspondan a ningún otro tipo y que Tengan Acceso al Segmento Espacial de INTELSAT para Servicios Internacionales y Nacionales, IESS 601, Rev. 11, 7 de octubre 2002.

www.intelsat.com/isdocs/iess/s/iess601s.pdf

[14] INTELSAT, Normas de Estaciones Terrenas: Factores de Reajuste de la PIRE de la Estación Terrena a fin de tomar en cuenta la Ventaja del Diagrama de Antena del Satélite y El Diferencial de Pérdida de Propagación según el Angulo de Elevación (K1 Y K2), IESS 402, Rev. 8, 16 de octubre 2002.

www.intelsat.com/isdocs/iess/s/iess402s.pdf

[15] INTELSAT, Normas de Estaciones Terrenas: Características del Satélite INTELSAT VIII-A (modelo de vuelo 805), IESS 418, Rev. 2, 30 de noviembre 1998.

www.intelsat.com/isdocs/iess/s/iess418s.pdf

[16] INTELSAT, Normas de Estaciones Terrenas: Definiciones de los Transpondedores de Alquiler de INTELSAT y Condiciones de Funcionamiento Conexas. Satélites INTELSAT VA, VI, VII, VII-A, VIII, VIII-A y IX, Estaciones Terrenas Tipo G, IESS 410, Rev. 8c, 13 de febrero 2002.

www.intelsat.com/isdocs/iess/s/iess410s.pdf

[17] INTELSAT, Normas de Estaciones Terrenas: Datos para el Apuntamiento de Estaciones Terrenas, IESS 412, Rev. 1, 19 de marzo 1990.

www.intelsat.com/isdocs/iess/s/iess412s.pdf

[18] INTELSAT, Normas de Estaciones Terrenas: Características de la Transmisión de Televisión Digital de Red Abierta, IESS 503, Rev. 3, 1 de octubre 2002.

www.intelsat.com/isdocs/iess/s/iess503s.pdf

[19] Sica News, Cables Coaxiales, 2002.

www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/2002terc/tecnologia/sica96.html

[20] Universidad Politécnica de Valencia, El MPEG-2, 2001.

www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo8_98.99/tecno/dvbs/mpeg/mpeg2.html

[21] Loreto Abalde Lima. ETSIT de Vigo, DVB (Digital Video Broadcasting), 30 de Mayo del 2000.

www.com.uvigo.es/asignaturas/scvs/trabajos/curso9900/dvb/MENU_DVB.html

[22] D. Breynaert (Newtec Cy), NEWTEC DTV Solution, 2002.

www.newtecamerica.com/news/ARTICLES/DVB_DTV.Solution.DOC

[C] OPERADOR SATELITAL.

www.intelsat.com

[D] EQUIPOS Y ACCESORIOS UTILIZADOS.

[D.1] Equipos y accesorios satelitales:

[Sistemas IRD-DVB & switcheo redundante, NEWTEC]:
www.newtecamerica.com

[Antena satelital receptora, PATRIOT]: www.sepatriot.com

[LNB, CALIFORNIA-AMPLIFIER]: www.calamp.com

[Conectores y accesorios ANDREW]: www.andrew.com

[Splitter 2 ways, SPAUN]: www.spaun.com

[D.2] Equipos y accesorios para transmisión VHF:

[Sistema radiante, RYMSA]: www.rymsa.com

[Transmisor VHF banda III, EMCEE BROADCAST PRODUCTS]:
www.emceebrd.com

[D.3] Cables y conectores:

[Cable heliax, RADIO FREQUENCY SYSTEMS]: www.rfsworld.com

[Cable RG-6U, BELDEN]: www.belden.com

[Conectores y cables audio / video]:
www.diotronic.com
www.hometech.com/techwire/coaxconn.html

[D.4] Equipos de monitoreo, protección y enfriamiento:

[Wave form monitor, LEADER]: www.tequipment.net/LeaderLV5222.html

[TV monitor, PANASONIC]: www.panasonic.com

[Antena VHF receptora, WINEGARD]: www.winegard.com

[UPS, TRIPPLITE]: www.tripplite.com/products/ups/index.cfm

[Acondicionador de aire, SAMSUNG]: www.samsung-latin.com

[E] OTROS SITIOS DE INTERÉS:

www.satcomresources.com

www.vicor.com/antenna/satellite/communications/product/antennas.htm

www.fortunecity.com/marina/titanic/525/1000links.htm

www.tequipment.net/LeaderPriceList.html