

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**DISEÑO DE UNA CABECERA SATELITAL EN BANDA C Y
KU PARA RECEPCIONAR SEÑALES DE TELEVISIÓN
ABIERTA PARA UNA INSTITUCIÓN PÚBLICA**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

ELABORADO POR:

ANDRÉS IVÁN CÓMINA JARA

ASESOR

Mg. MAURICIO PEDRO GALVEZ LEGUA

LIMA – PERÚ

2021

Certificado de aprobación

**DISEÑO DE UNA CABECERA SATELITAL EN BANDA C Y
KU PARA RECEPCIONAR SEÑALES DE TELEVISIÓN
ABIERTA PARA UNA INSTITUCIÓN PÚBLICA**

A mi madre, quien me brinda apoyo incondicional.

A mi esposa, quien me acompaña día a día.

A mis hijos, quienes sacrificaron tiempo.

A todos los que de una u otra manera
me ayudaron a cumplir este reto.

RESUMEN

En el Perú existe una institución pública denominada Dirección Nacional de Inteligencia que, tiene como función principal el generar inteligencia estratégica para producir conocimiento útil, que ayude al más alto nivel de Gobierno, en la toma de decisiones. Para cumplir con esta tarea, la institución debe buscar y coleccionar informaciones provenientes de diferentes fuentes de comunicación entre ellas la televisión de señal abierta. Por este motivo, se propone diseñar una cabecera satelital para acceder a la información proveniente de fuentes de televisión abierta de otros países, teniendo en consideración que las señales se recepcionarán en Lima-Perú y provienen de los satélites geoestacionarios en las bandas C y Ku. Además, la información seleccionada cumplirá con los criterios de interés de la institución pública.

Las actividades del presente trabajo se desarrollan bajo la metodología de *Project Management Institute* (PMI), donde se definen el Plan de Gestión de Recursos Humanos, Plan de Comunicación, Plan de Trabajo y Plan de Riesgos.

Palabras Claves: Ondas electromagnéticas, satelitales geoestacionarios, modulación de señales, ecuaciones de Maxwell, órbita de Clarke, bandas de frecuencia satelital C y Ku, televisión satelital e inteligencia estratégica.

ABSTRACT

In Peru there is a public institution called the “*Dirección Nacional de Inteligencia*”, whose main function is to generate strategic intelligence to produce useful knowledge to help the highest level of government in decision making. To fulfill this task, the institution must seek and collect information from different sources of communication, including open-signal television. For this reason, it is proposed to design a satellite headend to access information from open television sources in other countries, taking into consideration that the signals will be received in Lima-Peru and come from geostationary satellites in the C and Ku bands. In addition, the information selected will meet the criteria of interest of the public institution.

The activities of this work are developed under the methodology of the Project Management Institute (PMI), where the Human Resources Management Plan, Communication Plan, Work Plan and Risk Plan are defined.

Keywords: Electromagnetic Wave, geostationary satellites, signal modulation, Maxwell's equations, Clarke's orbit, C and Ku satellites frequency bands, satellite television and strategic intelligence.

ÍNDICE

1	CAPÍTULO I.....	3
	INTRODUCCIÓN.....	3
1.2	Descripción del Problema de Investigación.....	4
1.2.1	Situación Problemática	4
1.2.2	Problema a Resolver	5
1.3	Objetivos del Estudio.....	5
1.3.1	Objetivo General.....	5
1.3.2	Objetivos Específicos.....	5
1.3.3	Indicadores de logro de los objetivos.....	6
1.4	Antecedentes Investigativos.....	7
2	CAPÍTULO II.....	9
	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	9
2.1	Marco Teórico.....	9
2.1.1	Estándar ITU (<i>International Telecommunication Union</i>).....	9
2.1.2	Ondas electromagnéticas o Radiación electromagnéticas	11
2.1.3	Ecuaciones de Maxwell	12
2.1.4	Potencia de las OEM.....	16
2.1.4.1	Potencia Transportada por una OEM: Vector de Poynting.....	16
2.1.4.2	Potencia radiada por un dipolo oscilante.....	18

2.1.5	Espectro electromagnético y longitud de onda	19
2.1.6	Satélites	22
2.1.7	Órbitas satelitales	22
2.1.7.1	Satélites según su elevación	23
2.1.7.2	Satélites según su inclinación.....	24
2.1.8	Modulación de señales analógicas	26
2.1.9	Modulación de señales digitales	29
2.1.9.1	Modulación por desplazamiento de fase PSK.....	31
2.1.9.2	Modulación binaria por desplazamiento de fase BPSK o PRK	32
2.1.9.3	Modulación de Amplitud en Cuadratura u Ortogonal QAM	36
2.1.9.4	Modulación de fase en Cuadratura u Ortogonal QPSK	37
2.1.9.5	Modulación M-aria.....	38
2.1.9.6	Modulación PSK M-aria	39
2.1.10	Transmisión de señales de televisión satelital.....	41
2.1.10.1	Señal de televisión satelital por suscripción	41
2.1.10.2	Señal de televisión satelital abierta	42
2.2	Marco Conceptual	42
2.2.1	Satélites geoestacionarios	42
2.2.1.1	Cálculo de la distancia entre el satélite y la superficie terrestre.....	43
2.2.1.2	Cálculo de la velocidad orbital de un satélite geoestacionario.....	44
2.2.1.3	Tiempo de retardo de los satélites geoestacionarios	44
2.2.2	Órbita de Clarke o cinturón de Clarke	45
2.2.3	Bandas de frecuencias satelitales	46
2.2.4	Cabecera satelital	51
2.2.5	Definiciones de los equipos de telecomunicaciones satelitales	52

3	CAPÍTULO III	59
	DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	59
3.1	Diseño de la cabecera de televisión satelital.....	59
3.1.1	Determinación de los satélites geoestacionarios que emiten señal de televisión abierta.....	59
3.1.2	Determinación de canales de televisión abierta emitidos por los satélites geoestacionarios seleccionados.....	64
3.1.3	Determinación de los equipos de telecomunicaciones para la cabecera satelital.....	69
3.2	Propuesta de implementación del diseño de la cabecera utilizando PMI.....	74
3.2.1	Plan de gestión de recursos humanos.....	74
3.2.1.1	Interesados.....	74
3.2.1.2	Roles y funciones.....	76
3.2.2	Plan de comunicación.....	77
3.2.3	Plan de trabajo.....	79
3.2.3.1	Definición de los paquetes de trabajo.....	79
3.2.3.2	Propuesta de cronograma de trabajo.....	81
3.2.3.3	Costos estimados del proyecto.....	81
3.2.4	Plan de riesgos del proyecto.....	83
4	CAPÍTULO IV	85
	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	85
4.1	Cumplimiento del primer objetivo específico.....	85
4.2	Cumplimiento del segundo objetivo específico.....	87
4.3	Cumplimiento del tercer objetivo específico.....	89
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
1.	CONCLUSIONES	90

2. RECOMENDACIONES.....	91
BIBLIOGRAFÍA.....	92
ANEXOS	94
4.4 Anexo 1: Especificaciones técnicas de la Antena Prodelin serie 1385.....	94
4.5 Anexo 2: Especificaciones técnicas del LNB en banda C y Ku	95
4.6 Anexo 3: Especificaciones técnicas del splitter	96
4.7 Anexo 4: Especificaciones del receptor satelital Pico Macom PR4200IRD .	96
4.8 Anexo 5: Especificaciones del modulador Pico Macom PCM55AW	97
4.9 Anexo 6: Especificaciones del combinador Pico Macom PHC24G	97
4.10 Anexo 7: Especificaciones del amplificador Pico Macom CA30RK550	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Ingresos de los servicios por satélite (2017)	11
Figura 2.2: Líneas de campo eléctrico de un protón.....	13
Figura 2.3: Líneas de campo eléctrico de un protón y un electrón	14
Figura 2.4: Campo magnético	14
Figura 2.5: Superficie opaca A con ángulo α que intercepta la onda c .	17
Figura 2.6: Potencia instantánea en la superficie	18
Figura 2.7: Potencia radiada por un dipolo	18
Figura 2.8: El espectro electromagnético	20
Figura 2.9: Espectro electromagnético.....	22
Figura 2.10: Satélites según su elevación	24
Figura 2.11: Ángulo de inclinación de la órbita de un satélite.....	24
Figura 2.12: Nodo ascendente y descendente de la órbita de un satélite	25
Figura 2.13: Órbitas de los satélites de comunicación	26
Figura 2.14: Espectro de la señal moduladora y portadora f_m y f_c	28
Figura 2.15: Espectro de la señal modulada	28
Figura 2.16: Modulación de una señal	28
Figura 2.17: Modulación de una señal binaria en ASK, FSK y PSK (DPSK)	29
Figura 2.18: Modulación de una señal analógica y digital	30
Figura 2.19: Transmisión y recepción de una señal binaria con portadora modulada	30
Figura 2.20: Diagrama de constelación de modulaciones BPSK, QPSK y 8-PSK.....	32
Figura 2.21: Modulador BPSK.....	32

Figura 2.22: Modulador de anillo balanceado BPSK	33
Figura 2.23: Modulador BPSK en fase con la señal de entrada portadora	33
Figura 2.24: Modulador BPSK desfasado 180° respecto a la señal de portadora	34
Figura 2.25: Señal de entrada binaria y salida de modulación BPSK ...	34
Figura 2.26: Modulación QAM.....	36
Figura 2.27: Modulador QPSK	38
Figura 2.28: Modulación PSK M-aria en fasor.....	39
Figura 2.29: Modulación PSK M-aria	40
Figura 2.30 Televisión satelital por suscripción	41
Figura 2.31: Televisión satelital abierta	42
Figura 2.32: Algunos satélites con órbitas geoestacionarias.....	46
Figura 2.33: Bandas de frecuencias satelitales.....	48
Figura 2.34: Diagrama de una cabecera satelital de televisión	51
Figura 2.35: Antena de transmisión y recepción	52
Figura 2.36: Circuito equivalente a una antena de TX y RX	52
Figura 2.37: Recepción de la señal <i>Low Noise Block</i>	54
Figura 2.38: Splitter	55
Figura 2.39: Receptor satelital	56
Figura 2.40: Modulador	57
Figura 2.41: Combinador de 12 puertos	58
Figura 3.1: Esquema de diseño de la cabecera satelital.....	69
Figura 3.2: Organigrama del proyecto	76
Figura 3.3: Estructura de desglose de trabajo (EDT) o <i>Work Breakdown Structure (WBK)</i>	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Indicadores de logro de los objetivos	6
Tabla 2.1: Comparativo de secciones de la ITU	10
Tabla 2.2: Medios de propagación de OEM	12
Tabla 2.3: Ecuaciones de Maxwell	13
Tabla 2.4: Bandas del espectro de radiofrecuencia y sus principales aplicaciones	21
Tabla 2.5: Asignación de frecuencias según CCIR	47
Tabla 2.6: Rangos de frecuencias satelitales	48
Tabla 2.7: Banda Ku para Europa y América	50
Tabla 2.8: Clasificación FCC de radiotransmisores según su emisión ...	53
Tabla 2.9: Tipos de LNB	55
Tabla 2.10: Tipos de Splitter según la potencia que entregan	56
Tabla 2.11: Multiplexación en receptores	57
Tabla 3.1: Criterios para determinar los satélites a utilizar en el diseño	60
Tabla 3.2: Información disponible sobre satélites	60
Tabla 3.3: Satélites disponibles con señales de Bolivia	61
Tabla 3.4: Satélites disponibles con señales de Brasil	61
Tabla 3.5: Satélites disponibles con señales de Chile	62
Tabla 3.6: Satélites disponibles con señales de Colombia	62
Tabla 3.7: Satélites disponibles con señales de Ecuador	62
Tabla 3.8: Consolidado de los satélites disponibles	63
Tabla 3.9: Satélites que tiene señal en los países elegidos	64
Tabla 3.10: Señales de televisión abierta de Bolivia	65
Tabla 3.11: Señales de televisión abierta de Brasil	65

Tabla 3.12: Señales de televisión abierta de Chile.....	66
Tabla 3.13: Señales de televisión abierta de Colombia.....	67
Tabla 3.14: Señales de televisión abierta de Ecuador	67
Tabla 3.15: Señales de televisión abierta para explotar	68
Tabla 3.16: Consideraciones para determinar los equipos	70
Tabla 3.17: Asignación de antenas por satélite geoestacionario	70
Tabla 3.18: EIRP vs diámetro de antena para banda C	71
Tabla 3.19: EIRP vs diámetro de antena para banda Ku.....	71
Tabla 3.20: Stakeholders o interesados	75
Tabla 3.21: Roles y funciones del Director del Proyecto	77
Tabla 3.22: Plan de comunicación.....	78
Tabla 3.23: Paquete 1: Gestión del Proyecto	80
Tabla 3.24: Cronograma de trabajo para la implementación	81
Tabla 3.25: Costo del Personal	82
Tabla 3.26: Costo del proyecto por cada paquete de trabajo	82
Tabla 3.27: Plan de riesgos del proyecto.....	83
Tabla 4.1: Satélites con servicio en tres o más países elegidos	87
Tabla 4.2: Señales de televisión abierta de cada país elegido	88
Tabla 4.3: Señales de televisión abierta determinadas para explotación de información	88
Tabla 4.4: Equipamiento del diseño de la cabecera satelital.....	89

PRÓLOGO

Este trabajo propone una solución a la necesidad de una institución pública de generar inteligencia estratégica para producir conocimiento útil para la toma de decisiones al más alto nivel de Gobierno. Esta necesidad surgió de “*Focus Group*” entre directivos y colaboradores de la institución, la cual consiste en incrementar las fuentes de información provenientes de televisión abierta de diferentes países, lo que ayudará en la búsqueda y colección de información para producir conocimiento útil.

El Capítulo 1: Introducción, se explican las generalidades del trabajo, la descripción del problema de investigación, el objetivo general, los objetivos específicos, indicadores de logro de los objetivos y los antecedentes investigativos.

El Capítulo 2: Marco teórico y conceptual, en el marco teórico se describen los conceptos referentes al estándar *ITU (International Telecommunication Union)* espectro electromagnético, las ondas electromagnéticas, ecuaciones de Maxwell, potencia de las ondas electromagnéticas, conceptos sobre satélites, sobre modulaciones y transmisión de señales de televisión satelital. Los conceptos provienen de diversas fuentes de información académicas y legales. En el marco conceptual, se especifican los criterios relacionados al diseño del trabajo respecto a los satelitales geoestacionarios, órbita de Clarke, banda de frecuencias satelitales y definiciones de equipos de telecomunicaciones requeridos para recepcionar las señales de televisión abierta desde satélites geoestacionarios en bandas C y Ku.

El Capítulo 3: Desarrollo del trabajo de investigación, se elabora el diseño de la cabecera satelital, considerando los satélites geoestacionarios en bandas C y Ku con señales de televisión abierta de diferentes países que, contengan información de interés para la institución pública. Luego, se redactan las especificaciones técnicas de los equipos de telecomunicaciones necesarios para recepcionar las señales de televisión abierta basado

en los estándares de la *International Telecommunication Union* (ITU, por sus siglas en inglés). Posteriormente, se seleccionan las emisoras de televisión abierta disponibles en los satélites geoestacionarios en bandas C y Ku que contengan información de interés para la institución pública. Finalmente, se elaboran las especificaciones técnicas de los equipos de telecomunicaciones necesarios para la modulación, la codificación y la amplificación de la señal de televisión abierta. Todo el plan de trabajo se desarrollará siguiendo la metodología del *Project Management Institute* (PMI), el cual consiste en la definición del Plan de Gestión de Recursos Humanos, Plan de Comunicación, Plan de Trabajo y Plan de Riesgos.

El Capítulo 4: Análisis y discusión de los resultados, se realiza un análisis cuantitativo referente a los satélites geoestacionarios en bandas C y Ku que contengan señales de televisión abierta de países extranjeros y un análisis cualitativo respecto a los equipos de telecomunicaciones utilizados y los beneficios para la institución pública respecto la necesidad de acceso a la información proveniente de fuentes de televisión abierta de otros países.

Conclusiones y recomendaciones, se redactan las conclusiones del trabajo en base a los resultados obtenidos y el grado de cumplimiento del objetivo general y los objetivos específicos del diseño propuesto. Además, se realiza recomendaciones en base al desarrollo del diseño propuesto, para la mejora del presente trabajo y su posible implementación o adaptación a otras necesidades similares.

Referencias Bibliográfica, se citan todas las referencias que se han empleado en el presente trabajo. Estas incluyen preferentemente referencias a fuentes de información académicas y normas legales.

1 CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se explican las generalidades del trabajo, la descripción del problema de investigación, el objetivo general, los objetivos específicos, indicadores de logro de los objetivos y los antecedentes investigativos.

1.1 Generalidades

La razón principal por la cual se propone el diseño de una cabecera satelital en banda C y Ku para recepcionar señales de televisión abierta de diferentes países es porque para la Institución pública es de suma importancia mejorar la calidad de la inteligencia estratégica producida, lo que se logra, cubriendo la necesidad de contar con mayor cantidad de fuentes de información de televisión abierta de otros países.

Por otra parte, con este trabajo se realizan aportes de ingeniería relacionados al diseño de una cabecera satelital en bandas C y Ku. También, se explican conceptos de espectro electromagnético, bandas de frecuencia, así como, el funcionamiento de los equipos de comunicaciones satelitales para recepcionar señales de televisión satelital abierta. Además, se describe un método para detectar satélites geoestacionarios, que están disponibles para la ciudad de Lima-Perú.

Todas las actividades del presente trabajo se desarrollan bajo la metodología de *Project Management Institute* (PMI, por sus siglas en inglés), donde se definen los paquetes de trabajo, el cronograma de trabajo (diagrama de Gantt del proyecto) y el análisis de costos.

1.2 Descripción del Problema de Investigación

En esta sección se desarrollarán la situación problemática que da origen al presente trabajo y el problema a resolver, que es la solución que se está proponiendo.

1.2.1 Situación Problemática

En la institución pública, el acceso a fuentes de información de otros países es limitado, debido a que, solo se cuenta con acceso a fuentes de información que utilizan medios guiados como, por ejemplo: los operadores de TV por cable; sin embargo, en los últimos años se han incrementado las fuentes de información que se transmiten mediante medios no guiados como, por ejemplo: señales de televisión satelitales.

Un ejemplo para sustentar lo indicado en el párrafo anterior es comparar el número de canales de televisión por cable y televisión satelital disponibles en el Perú. Por ejemplo: el operador de cable Movistar <https://www.movistar.com.pe/hogar/tv/guia-de-canales> es un operador de televisión por cable que tiene aproximadamente 100 canales disponibles, de los cuales 10 son canales extranjeros con formación relevante y el operador de televisión satelital Hispasat <https://www.hispasat.com/es/soluciones-y-servicios/audiovisuales/dth>, tiene aproximadamente 1000 canales, de los cuales son más de 20 canales extranjeros con información de interés.

La institución pública no cuenta con la infraestructura que le permita acceder a fuentes de información que utilizan medios no guiados, limitando con ello el acceso a la información relevante. Es por ello que surge la necesidad de diseñar una infraestructura de telecomunicaciones para acceder a satélites geoestacionarios que emitan información de carácter público.

Para cumplir con su función principal de producir inteligencia estratégica, la institución debe buscar y coleccionar información desde diferentes tipos de fuentes, tanto nacionales como internacionales.

Según la Ley 30535, del 19 de diciembre del 2016, denominado “Ley que modifica el Decreto Legislativo 1141, Decreto Legislativo de Fortalecimiento y Modernización del Sistema de Inteligencia Nacional - SINA y de la Dirección Nacional de Inteligencia – DINI”, en su Artículo 2, denominado “Definiciones”, dice “...3) Inteligencia Estratégica: Conocimiento útil, proporcionado al

Presidente Constitucional de la República y al Consejo de Ministros para la formulación y ejecución de la política general de gobierno, con el objeto de garantizar el respeto de los derechos humanos, proteger a la población de las amenazas contra la seguridad, defender la soberanía nacional, y promover el bienestar general y el desarrollo integral de la Nación...”. Además, en el Título III “Dirección Nacional de Inteligencia – DINI”, Capítulo I “Estructura Orgánica”, Artículo 17 “Funciones”, dice: “Proveer de inteligencia estratégica al Presidente de la República y al Consejo de Ministros para la formulación y ejecución de las acciones y políticas, con el objeto de garantizar la vigencia de los derechos humanos; defender la soberanía nacional: promover el bienestar general y el desarrollo integral de la Nación; y proteger a la población de las amenazas internas y externas contra su seguridad.”.

1.2.2 Problema a Resolver

Escaso acceso a fuentes de información relevante, por parte de la institución pública, a señales de televisión abierta proveniente de otros países, las cuales se transmiten mediante satélites geoestacionarios en las bandas C y Ku.

1.3 Objetivos del Estudio

En esta sección se redactan el objetivo general, los objetivos específicos y los indicadores de logro por cada uno de los objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una solución de cabecera satelital en banda C y Ku para recepcionar señales de televisión abierta para acceder a información relevante para la institución pública.

1.3.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos que, ayudarán a cumplir con el objetivo general serán los siguientes:

- Determinar los satélites geoestacionarios en banda C y Ku, desde los cuales se reciben señales de televisión abierta de otros países, en la

ciudad de Lima, para cumplir con las necesidades de información de la institución pública.

- Determinar las señales de televisión abierta que, se reciben en la ciudad de Lima, desde los satélites geoestacionarios en bandas C y Ku y cumplen con los criterios de información de interés para la institución pública.
- Determinar el equipamiento necesario para cumplir con los requerimientos de diseño de la cabecera satelital en bandas C y Ku para recibir las señales de televisión abierta que transmiten los satélites geoestacionarios.

1.3.3 Indicadores de logro de los objetivos

Tabla 1.1: Indicadores de logro de los objetivos
Fuente: Elaboración propia

N°	Objetivo Específico	Indicador de logro	Métrica
1	Determinar los satélites geoestacionarios en banda C y Ku, desde los cuales se reciben señales de televisión abierta de otros países, en la ciudad de Lima, para cumplir con las necesidades de información de la institución pública.	Existen satélites geoestacionarios en las bandas C y Ku con señales de televisión de países relevantes.	Número de satélites geoestacionarios relevantes.
2	Determinar las señales de televisión abierta que, se reciben en la ciudad de Lima, desde los satélites geoestacionarios en bandas C y Ku, y cumplen con los criterios de información de interés para la institución.	Existen señales de televisión abierta que transmiten información relevante desde los satélites geoestacionarios en banda C y Ku.	Número de señales de televisión abierta que transmiten información relevante.
3	Determinar el equipamiento necesario para cumplir con los requerimientos de diseño de la cabecera satelital en bandas C y Ku para recibir las señales de televisión abierta que transmiten los satélites geoestacionarios.	Los equipos cumplen con los parámetros establecidos para la recepción de señales de televisión que transmiten los satelitales en bandas C y Ku.	Porcentaje de equipos de telecomunicaciones que cumplen con los parámetros establecidos.

1.4 Antecedentes Investigativos

Respecto al tema propuesto, en el Perú, se han realizado varias investigaciones sobre las cabeceras satelitales. De estas investigaciones se mencionarán las que más se relacionan al trabajo propuesto.

La primera tesis, titulada “**Diseño de una cabecera Satelital DVB-S2 en la ciudad de Lima orientada a la retransmisión nacional en la señal emitida por los canales locales de TDT de bajo presupuesto**” que fue elaborada por los señores Labán Agüero Jorge Luis y Berrios Morrón, Jonathan Glenn, en el año 2015, ellos realizan una investigación orientada a diseñar una cabecera satelital DVB-S2 (por sus siglas en inglés: *Digital Video Broadcasting by Satellite – Second Generation*) en la ciudad de Lima para enviar las señales de televisión a un satélite y así retransmitirla a todo el Perú y con esto llegar a suplir la escasa cobertura de la Televisión Digital Terrestre (TDT) debido a la costosa implementación de las estaciones retransmisoras en todo el territorio peruano, con lo que pequeños canales de televisión no podrían cumplir con los plazos establecidos por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). Respecto al trabajo propuesto por el suscrito, esta tesis aporta a la solución del problema una guía respecto a algunos de los equipos de telecomunicaciones que se necesitan para el diseño la cabecera satelital. Además, menciona algunos satélites en banda Ku que tienen cobertura en el Perú y que son necesarios para el trabajo propuesto.

La segunda tesis, titulada “**Diseño e implementación de un sistema UP Link DTH**”, en la ciudad de Lima, fue elaborada por Amorós Tirado, Jorge Félix en el año 2013, el autor detalla los pasos para implementar una estación de transmisión en la banda Ku para la empresa *Media Network Latin America SAC*, habilitando la polarización horizontal de las estaciones DTH 6 y DTH 7 (*Direct To Home*), puesto que, anteriormente la empresa solo utilizaba la polarización vertical. Esta tesis aporta a la solución del problema algunas formas de calcular los parámetros requeridos para el diseño de la cabecera satelital. Por ejemplo: cálculo de enlace satelital y cálculo de apuntamiento. Además, describe algunos equipos de telecomunicaciones que se utilizarán en el trabajo propuesto.

La tercera tesis, titulada “**Diseño de una red de acceso para el negocio de Televisión por paga para el área rural usando la televisión digital terrestre**”, elaborada por Matos Párraga, Diego Antonio en el año 2012, el autor, realiza el diseño de una cabecera de televisión digital terrestre para demostrar que el negocio

de televisión por paga no es rentable en el periodo de 10 años. El trabajo fue desarrollado considerando la cantidad de canales, seguridad y capacidad de los equipos en las etapas de recepción, demodulación y multiplexación. Esta tesis aporta a la solución del problema una visión de algunos de los equipos de telecomunicaciones que se utilizarán en el diseño de la cabecera satelital.

El presente trabajo aporta en el diseño de una cabecera satelital que se utilizará para recibir las señales de televisión satelital provenientes de los satélites geoestacionarios que están ubicados en el cinturón de Clarke. Estos satélites, en su mayoría, utilizan las bandas de frecuencias C y Ku y generalmente utilizan las modulaciones QPSK (*Quadrature Phase Shift Key*) y QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) para transmitir las señales de televisión. También aporta con las especificaciones técnicas de los equipos de telecomunicaciones que se utilizan en el diseño de la cabecera satelital, basado en los estándares definidos por la ITU (*International Telecommunication Union*). Finalmente, la gestión de la implementación del diseño se realizará mediante la gestión de las actividades basadas en la metodología PMI (*Project Management Institute*) y serán plasmadas en el Plan de Gestión de Recursos Humanos, Plan de Comunicación, Plan de Trabajo y Plan de Riesgos.

2 CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Este capítulo consta de dos partes: en el marco teórico se describen los conceptos referentes al estándar *ITU (International Telecommunication Union)*, espectro electromagnético, las OEM (ondas electromagnéticas), ecuaciones de Maxwell, potencia de las ondas electromagnéticas, conceptos sobre satélites, modulaciones y transmisión de señales de televisión satelital. Los conceptos provienen de diversas fuentes de información académicas. En el marco conceptual, se especifican los criterios relacionados al diseño del trabajo respecto a los satelitales geoestacionarios, órbita de Clarke, bandas de frecuencias satelitales y equipos de telecomunicaciones para recepcionar las señales de televisión desde satélites geoestacionarios en bandas C y Ku.

2.1 Marco Teórico

Se detallarán los conceptos de las telecomunicaciones utilizados en el desarrollo del trabajo, los cuales provienen de fuentes académicas.

2.1.1 Estándar ITU (*International Telecommunication Union*)

Giovanni Giambene en su libro "*Resource Management in Satellite Network*" define que, la *International Telecommunication Union (ITU)*, es una organización de la ONU (Organización de las Naciones Unidas), donde los gobiernos y las industrias coordinan los servicios y redes de las telecomunicaciones y se divide en tres secciones:

Tabla 2.1: Comparativo de secciones de la ITU
Fuente: Elaboración propia

Secciones de la ITU	Descripción
ITU-T (<i>International Telecommunication Union – Telecommunication</i>),	que es la sección que cubre todos los estándares en el campo de las telecomunicaciones
ITU-R (<i>International Telecommunication Union – Radiocommunication</i>)	que es la sección que los estándares en el campo del espectro de radiofrecuencia, capa física y las órbitas de los satélites
ITU-D (<i>International Telecommunication Union – Telecommunication Development</i>)	que es la sección que cubre los acuerdos de los desarrollos de las telecomunicaciones.

La sección ITU-R es la encargada de determinar las características técnicas y procedimientos operacionales para el espectro de radiofrecuencias. El crecimiento de esta sección se debe al desarrollo de las tecnologías en las comunicaciones móviles y satelitales, las cuales han incrementado su demanda considerablemente. La ITU-R se encarga de asignar las frecuencias utilizadas internacionalmente en el *Master International Frequency Register*, el cual incluye alrededor de 1'265,000 frecuencias terrestres, 325,000 servicios asignados, 1,400 redes satelitales y 4,265 estaciones satelitales en Tierra. Además, es responsable de coordinar acciones para asegurar que las comunicaciones, señales de televisión y meteorológicas de los satélites puedan coexistir sin que sufran interferencias.

El espectro de radiofrecuencia para las comunicaciones está dividido en bloques, el tamaño de estos bloques es variable de acuerdo a las necesidades de los servicios y sus requerimientos. Estos bloques son denominados bandas de frecuencia y se pueden asignar en forma exclusiva y compartida. La lista de servicios y bandas de frecuencia asignadas en las diferentes regiones están en la *Tabla 2.5*, denominada "Tabla de asignación de Frecuencias".

Chirs Hofer, *Chairman of the ITU Radiocommunication, Sector Study Group 4*, en la revista ITUNew Magazine, N°2 del 2019, explica que las comunicaciones satelitales en banda ancha se están incrementando lo que hace que el papel de la ITU-R sea cada vez más importante en la regulación de bandas de

frecuencia para que no existan interferencias en los satélites o en las estaciones en Tierra. En la siguiente figura se aprecia que los ingresos por servicios de televisión satelital se han incrementado considerablemente, lo que conlleva a un crecimiento de las comunicaciones satelitales.

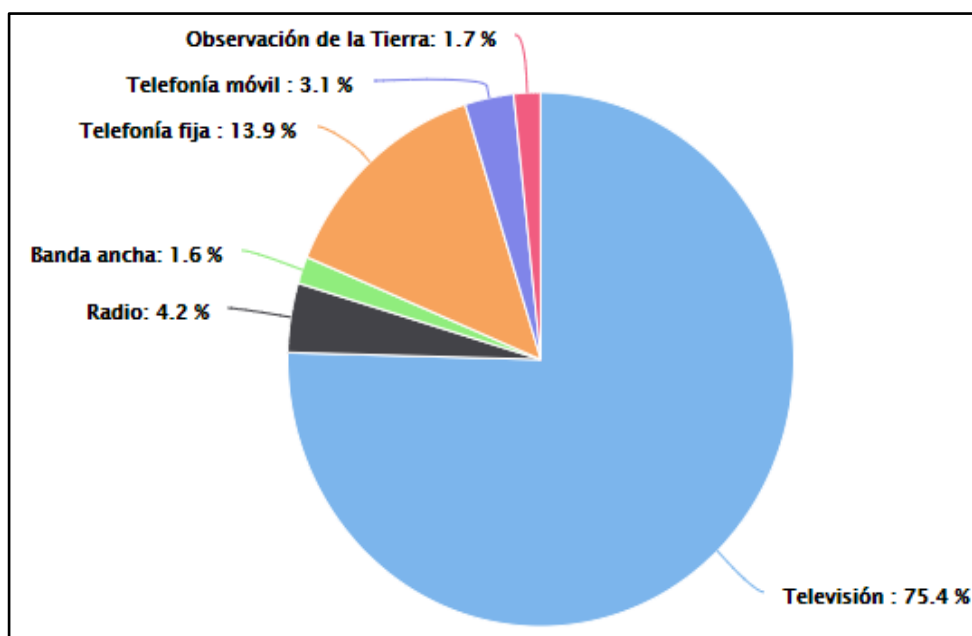


Figura 2.1: Ingresos de los servicios por satélite (2017)
Fuente: *Satellite Industry Association (SIA)*

2.1.2 Ondas electromagnéticas o Radiación electromagnéticas

Roy Blake, en su libro *“Wireless Communication Technology”*, menciona que las Ondas Electromagnéticas (OEM) son aquellas que cuentan con una combinación de campo eléctrico y otro magnético, que se producen por el movimiento de una partícula con una carga eléctrica. Esta partícula, al estar cargada tiene un campo eléctrico (E). Al acelerar la partícula se genera un campo magnético (B). También puede ocurrir lo contrario, es decir, que un campo magnético en movimiento podrá generar un campo eléctrico.

Shree Krishna Sharma, en su libro *“Satellite Communications in the 5G Era”*, menciona que, los fundamentos de la teoría de los fenómenos electromagnéticos se basan en las ecuaciones de Maxwell. Estas ecuaciones se explicarán posteriormente, pero se adelanta que, estas ecuaciones predicen la existencia de las ondas electromagnéticas (OEM), las cuales se propagan en el espacio libre a una velocidad comparable a la velocidad de la luz ($c=3 \times 10^8 m/s$). Por otro lado, Heinrich Hertz generó y detectó las OEM, con lo

cual, se desarrollaron sistemas de comunicaciones como radio, televisión, redes inalámbricas, sistemas de telefonía móvil, entre otros.

Las ondas electromagnéticas se generan a partir de cargas eléctricas oscilantes. Estas ondas transportan energía y pueden transmitirse a grandes distancias en función de su longitud de onda.

George M. Junkel en su libro "*Shielding of Electromagnetic Waves*" y Songling Huang en su libro "*Theory and Methodology of Electromagnetic Ultrasonic Guided Wave Imaging*", clasifican a las ondas en dos tipos: ondas mecánicas y ondas electromagnéticas.

Las ondas mecánicas son aquellas que necesitan un medio para propagarse. Como, por ejemplo: las ondas de sonido, ondas en el agua, ondas que se propagan en una cuerda, entre otras.

Las ondas electromagnéticas son aquellas que se pueden propagar por un medio físico y también por el vacío. Por lo tanto, la transmisión de una OEM se puede realizar mediante:

Tabla 2.2: Medios de propagación de OEM
Fuente: Elaboración propia

Medio Guiado	Medio no guiado
La propagación de a onda es por un medio físico. Por ejemplo, la fibra óptica, donde se transportan ondas electromagnéticas del rango de los micrómetros, es decir, en forma de luz.	La propagación de la OEM es por el vacío. Por ejemplo: la atmósfera y el espacio exterior.

2.1.3 Ecuaciones de Maxwell

George M. Kunkel, en su libro "*Shielding of Electromagnetic Waves*" y Fawwaz Ulaby, en su libro "*Fundamentos de Aplicaciones en Electromagnetismo*", enumera las cuatro ecuaciones de Maxwell referentes al electromagnetismo moderno, las cuales son la base de la teoría electromagnética. Estas ecuaciones muestran la relación del campo eléctrico con el campo magnético, es decir, la variación de uno afecta al otro. Las ecuaciones de Maxwell son:

Tabla 2.3: Ecuaciones de Maxwell

Fuente: Elaboración propia

$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$	$\nabla \cdot \mathbf{B} = \mathbf{0}$	$\nabla \times \mathbf{E} = -d\mathbf{B}/dt$	$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + d\mathbf{D}/dt$
------------------------------------	--	--	--

Donde: E , es el campo eléctrico; D , es el flujo de campo eléctrico; ρ_v , Es la densidad de carga eléctrica por unidad de volumen; H , es el campo magnético; B , es la densidad de campo magnético; J , es la densidad de corriente por unidad de área; Estas ecuaciones son las mismas en el vacío (espacio libre) o en un medio físico.

Ley de Gauss para el campo eléctrico

Respecto a la primera ecuación de Maxwell $\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$ se sabe que $D = \epsilon_0 E$, donde ϵ_0 es la constante dieléctrica o permitividad eléctrica del vacío. Aplicando a la primera ecuación de Maxwell nos queda:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho_v / \epsilon_0$$

En este caso E es el campo eléctrico y da una idea de la intensidad de la fuerza eléctrica (D) de atracción o repulsión que experimenta una carga eléctrica.

El campo eléctrico es una cantidad vectorial, es decir, dice la dirección hacia dónde sería empujada (atracción o repulsión) una carga eléctrica positiva y tiene un número que indica la intensidad con la que la carga eléctrica sería empujada. Por ejemplo, las ondas creadas por un protón son de la siguiente forma:

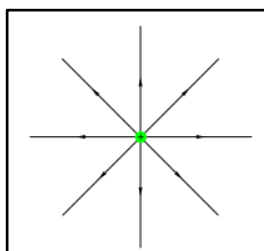


Figura 2.2: Líneas de campo eléctrico de un protón

Fuente: Elaboración propia

El operador nabla, en el producto escalar de la ley de Gauss, nos dice dónde empiezan y dónde terminan las líneas que representan al campo eléctrico (E), esto se conoce como la divergencia del campo eléctrico. En este caso siempre habrá un flujo que sale del protón sin retorno, este flujo será igual a la densidad de carga eléctrica (ρ_v), la cual dice cuánta carga eléctrica está contenida en la región (carga positiva o negativa), si la carga resultante es positiva entonces las líneas salen y si la carga resultante es negativa entonces las líneas entran

pero si es cero quiere decir que existe la misma cantidad de carga negativa que de carga positiva. La constante dieléctrica en el Sistema Internacional de Unidades es $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ A}^2 \text{ s}^4 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-3}$ es una constante universal, donde A es el área del medio.

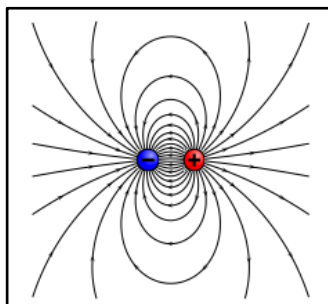


Figura 2.3: Líneas de campo eléctrico de un protón y un electrón
Fuente: elaboración propia

Al conjunto compuesto por una carga negativa y una positiva se le denomina dipolo eléctrico y, la divergencia del campo eléctrico es 0. Si se quita una de las cargas se convertirá en monopolo eléctrico.

Ley de Gauss para el campo magnético

La segunda ley de Maxwell dice que $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$. Tal como se explicó en la primera ley de Maxwell, el operador nabra describe el comportamiento del campo magnético, es decir, es la divergencia del campo magnético y representa el inicio y el final del campo magnético en un área cerrada, pero al ser igual a cero quiere decir que, en el área cerrada de manera neta, no nace ni mueren líneas de campo magnético, es decir, son cerradas dentro del espacio donde se analiza.

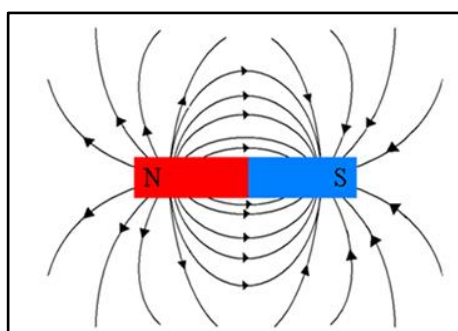


Figura 2.4: Campo magnético
Fuente: Elaboración propia

En el caso del campo magnético se definirá el polo norte y el polo sur y al conjunto de estos dos polos se le denominará dipolo magnético y nunca se

podrá conseguir que las líneas del campo magnético sean abiertas. Si se partiera el imán, los pedazos resultantes serían un dipolo con polo norte y polo sur magnético respectivamente.

Ley de Faraday

La tercera ley de Maxwell dice que $\nabla \times \mathbf{E} = -d\mathbf{B}/dt$, también se conoce como la ley de inducción de Faraday o la ley Maxwell-Faraday. Para entender esta ecuación se debe considerar que $\nabla \times \mathbf{E}$ es la rotacional del campo eléctrico, es decir, indica hacia dónde y qué tan rápido gira el campo eléctrico y $d\mathbf{B}/dt$ es el ritmo de cambio del campo magnético respecto al tiempo. Además, \mathbf{B} es un vector de dirección entonces $d\mathbf{B}/dt$ también es un vector que tiene la misma dirección de cambio que, el campo magnético. Por ejemplo, si el campo magnético (\mathbf{H}) va hacia la derecha con un flujo constante ($\mathbf{B} = \text{cte}$) entonces $d\mathbf{B}/dt = 0$ pero si el campo magnético va a la derecha con un flujo que se incrementa con el tiempo entonces $d\mathbf{B}/dt$ también se moverá a la derecha. Finalmente, si el campo magnético va hacia la derecha, pero el flujo magnético (\mathbf{B}) va disminuyendo entonces $d\mathbf{B}/dt$ será negativa y eso quiere decir que será contraria al campo magnético. Por lo explicado, vemos que $-d\mathbf{B}/dt$, es el cambio del campo magnético, pero en sentido contrario al campo eléctrico (\mathbf{E}). Dicho en otras palabras, la rotacional del campo eléctricos, en un punto determinado, depende de la variación del campo magnético en ese punto o también podemos decir que, el campo magnético variable en el tiempo produce un campo eléctrico contrario al cambio del campo magnético y estos campos son perpendiculares entre sí. Un ejemplo, son los generadores de electricidad, donde el imán puede moverse con agua, vapor, viento o combustión.

Ley de Ampere-Maxwell

La cuarta ley de Maxwell está definida por $\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{d\mathbf{D}}{dt}$, si reemplazamos $\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E}$ y $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$, donde μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío ($\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$) entonces nos quedaría la siguiente ecuación:

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 d\mathbf{E}/dt$$

\mathbf{J} es la densidad de corriente eléctrica, es similar a la densidad de carga eléctrica. Si $\mathbf{J} = 0$ entonces quiere decir que en ese punto no hay corriente eléctrica, pero si \mathbf{J} es grande quiere decir que en ese punto hay una gran

concentración de corriente eléctrica. La corriente eléctrica es un conjunto de cargas eléctricas en movimiento.

Para entender esta ecuación debemos recordar que Orsted fue quien realizó los experimentos para la tercera y cuarta ecuación de Maxwell y llegó a las siguientes conclusiones:

- El campo magnético es tanto más intenso cuanto mayor es la intensidad de la corriente eléctrica (el campo magnético es directamente proporcional a la intensidad de la corriente eléctrica).
- El campo magnético es tanto más más intenso cuanto más cerca del cable era medido (el campo magnético es inversamente proporcional a la distancia).
- El campo magnético nunca se dirige al cable, sino que es perpendicular a él en todos los puntos.

Si se analiza solo la primera parte de la ecuación ($\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J}$), se puede apreciar que las fuentes primarias del campo magnético son el flujo de las corrientes eléctricas, es decir el movimiento de las cargas eléctricas. Además, de las leyes anteriores sabemos que un campo eléctrico produce un campo magnético, por lo que, la ecuación final es la que se presentó al inicio:

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 d\mathbf{E}/dt$$

Esto nos dice que un campo eléctrico variable produce una rotacional del campo magnético aun cuando no existen corrientes eléctricas. Es decir, la variación en el tiempo de uno de los dos campos (eléctrico o magnético) hace que se produzca el otro campo.

2.1.4 Potencia de las OEM

Javier Bará Temes, en su libro "Ondas Electromagnéticas en Comunicaciones" conceptualiza los términos de potencia transportada por una onda electromagnética mediante el Vector de Poynting y Potencia radiada por un dipolo oscilante.

2.1.4.1 Potencia Transportada por una OEM: Vector de Poynting

Las OEM están constituidas por el Campo Eléctrico (\vec{E}) y Campo Magnético (\vec{H}) y su potencia está distribuida por todo el espacio.

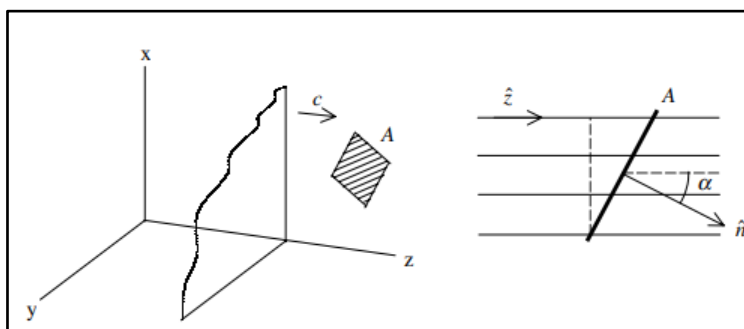


Figura 2.5: Superficie opaca A con ángulo α que intercepta la onda \bar{c}
 Fuente: Ondas Electromagnéticas en Comunicaciones, Javier Bará Temes

En la figura se muestra a la OEM plana, que intercepta a la superficie opaca A y la potencia interceptada será P_A será proporcional a la superficie proyectada, es decir, $A \cos \alpha$, puesto que, α es el ángulo entre la dirección de propagación de la onda \bar{c} y la normal de la superficie \hat{n} . Lo cual lleva a la definición de potencia interceptada como flujo de un vector, al que se denominará \bar{S} y tendrá la dirección de la propagación de la onda (\hat{z} en la figura anteriormente mostrada). Por lo que, podemos definir que la potencia es:

$$P_A = \bar{S} \cdot \hat{n} A = \bar{S} \cdot \bar{A}$$

P_A se medirá en watts (W) y A en metros cuadrados (m^2), entonces \bar{S} deberá tener las dimensiones de W/m^2 y deberá cumplir que:

- \bar{S} debe tener la dirección de propagación de la onda.
- Para una onda $S \cong |\bar{E}||\bar{H}|$

Con esto, Javier Bará Temes, en su libro "Ondas electromagnéticas en comunicaciones" conceptualiza el vector de Poynting \bar{S} , de la siguiente manera: $\bar{S}(\vec{r}, t) = \bar{E}(\vec{r}, t) \times \bar{H}(\vec{r}, t)$

y el flujo de la potencia que pasa por un diferencial de superficie $d\bar{A}$ está dado por: $dP = \bar{S} \cdot \hat{n} dA = \bar{S} \cdot d\bar{A}$

En el caso particular de una OEM plana se sabe que $\bar{E} = E_x \hat{x}$ y $\bar{H} = H_x \hat{y}$, entonces

$$\bar{S} = \hat{z} \frac{|E_{0x}|^2}{\eta} \cos^2(\omega t - kz + \varphi)$$

y la potencia interceptada por una superficie A en el plano $z = z_0$ y perpendicular a la dirección de propagación de la OEM será:

$$P_A(t) = \frac{|E_{0x}|^2}{\eta} A \cos^2(\omega t - kz_0 + \varphi)$$

La potencia en la superficie estará representada por la siguiente gráfica:

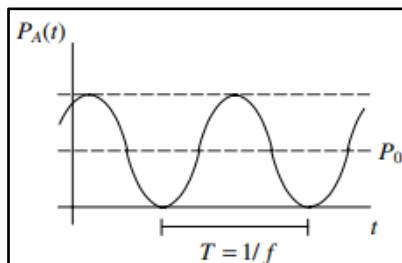


Figura 2.6: Potencia instantánea en la superficie

Fuente: Ondas Electromagnéticas en Comunicaciones, Javier Bará Temes

El valor medio de la potencia P_{Am} estará dada por la siguiente ecuación:

$$P_{Am} = \frac{1}{T} \int_0^T P_A(t) dt = \frac{|E_{0x}|^2}{\eta} A \frac{1}{T} \int_0^T \cos^2(\omega t - kz_0 + \varphi) dt = \frac{|E_{0x}|^2}{2\eta} A$$

El valor medio del vector de Poynting \bar{S}_m está dado por:

$$\bar{S}_m = \frac{1}{2} \text{Re}[\bar{E} \times \bar{H}^*] = \frac{1}{2} \text{Re}[E_{0x} H_{0y}^*] \hat{x} \times \hat{y} = \frac{|E_{0x}|^2}{2\eta} \hat{z} = \frac{1}{2} \eta |H_{0y}|^2 \hat{z}$$

Por lo tanto, la potencia media estará representada por:

$$P_{Am} = \bar{S}_m \cdot \bar{A}$$

2.1.4.2 Potencia radiada por un dipolo oscilante

Se tiene un dipolo en el centro del eje de coordenadas. Tal como se muestra en la figura:

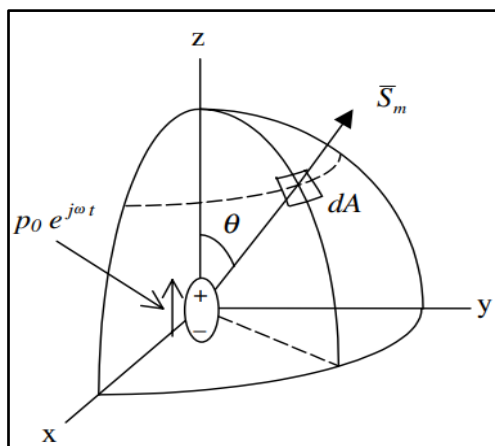


Figura 2.7: Potencia radiada por un dipolo

Fuente: Ondas electromagnéticas en comunicaciones, Javier Bará Temes

El vector de Poynting que produce este dipolo tendrá la forma:

$$\bar{S}_m = \frac{1}{2} \text{Re} [\bar{E} \times \bar{H}^*] = \frac{1}{2} \text{Re} [E_\theta H_\phi^*] \hat{\theta} \times \hat{\phi} = \frac{1}{2} \frac{|E_\theta|^2}{\eta} \hat{r} = \frac{1}{2} \eta \frac{|A_p|^2}{r^2} \sin^2 \theta \hat{r}$$

Donde: $\eta = E_{0x}/H_{0y} = \sqrt{(u_0/\epsilon_0)} = 120\pi \Omega$

Se puede apreciar que la densidad de flujo de potencia generado por el dipolo es \bar{S}_m , para una distancia r vemos que es máxima cuando $\theta = \pi/2$ (plano ecuatorial) y mínima cuando $\theta = 0$ o $\theta = \pi$.

Para el cálculo de la potencia media total, sabemos que:

$$dP_m = \bar{S}_m \bullet d\bar{A} = S_m r_0^2 \sin \theta d\theta d\phi$$

Además, la potencia media total se calcula integrando la ecuación anteriormente descrita sobre toda la superficie esférica. Puesto que, el diferencial de superficie $d\bar{A}$ tiene la misma dirección que el vector de Poynting. Así tenemos:

$$P_m = \int \bar{S}_m \bullet d\bar{A} = \frac{1}{2} \eta \frac{|A_p|^2}{r_0^2} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \sin^2 \theta \sin \theta r_0^2 d\phi d\theta$$

$$P_m = \frac{1}{2} \eta |A_p|^2 2\pi \int_0^\pi (1 - \cos^2 \theta) d(-\cos \theta) = \pi \eta |A_p|^2 \left[-\cos \theta + \frac{1}{3} \cos^3 \theta \right]_0^\pi$$

Donde: $\eta = E_{0x}/H_{0y} = \sqrt{(u_0/\epsilon_0)} = 120\pi \Omega$ y $A_p = p_0 \omega/2\lambda$

$$P_m = 160 p_0^2 c^2 \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^4$$

$$P_m = 10 p_0^2 c^2 k^4$$

Donde: Momento dipolar $p_0 = |e|z_0$; Velocidad de la luz: $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$; número de onda: $k = \omega/c = 2\pi/Tc = 2\pi/\lambda$; longitud de onda: $\lambda = cT$

2.1.5 Espectro electromagnético y longitud de onda

Fawwaz, en su libro denominado "Fundamentos de Aplicaciones en Electromagnetismo" y Roy Blake en su libro "Wireless Communications Technology", mencionan que las Ondas Electromagnéticas (OEM) son aquellas que cuentan con una combinación de campo eléctrico y campo magnético, que se producen por el movimiento de una partícula con una carga eléctrica.

Por otra parte, mencionan que la longitud de onda es la distancia que la onda viaja en el intervalo que se repite. Es decir, es la distancia que la onda viaja en un periodo. En las ondas sinusoidales esta distancia se da entre dos crestas.

Las ondas electromagnéticas comparten tres propiedades fundamentales:

- Se componen de intensidad de campo eléctrico y magnético que oscilan a la misma frecuencia (f).
- La velocidad de fase de una onda EM que se propaga en el vacío es una constante universal dada por la velocidad de la luz c .
- En el vacío, la longitud de onda λ de una onda (EM) está relacionada con su frecuencia de oscilación f mediante la siguiente fórmula:

$$\lambda = c/f$$

Las ondas EM se distinguen por su longitud de onda λ o por su frecuencia f . En la siguiente figura se muestra el espectro electromagnético, representado en longitud de onda λ (con su unidad en metro: m) y en frecuencia f (con su unidad en Hertz: Hz)

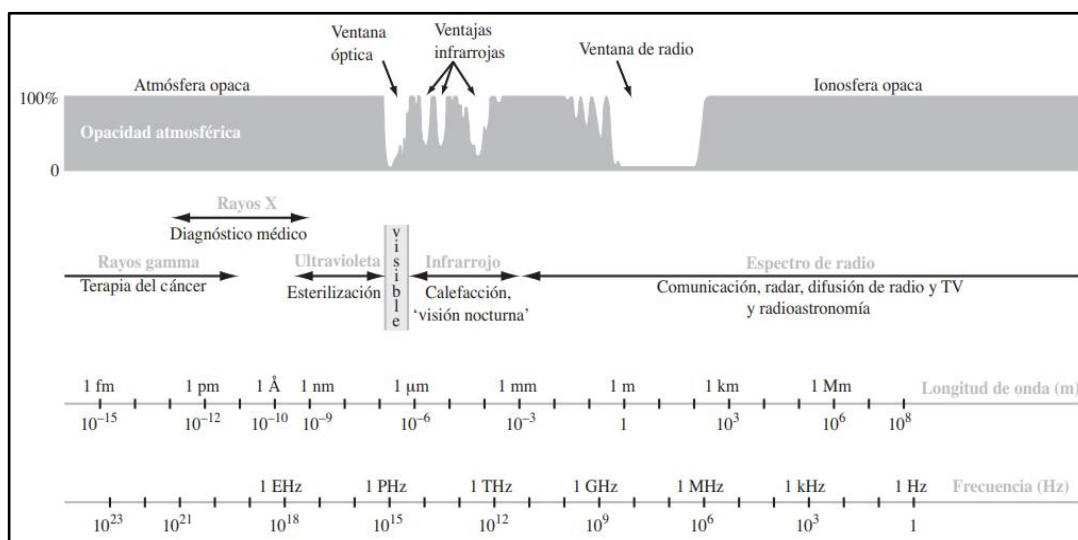


Figura 2.8: El espectro electromagnético

Fuente: Fundamentos de Aplicaciones en Electromagnetismo, Fawwaz

Dentro del espectro electromagnético la ITU, estandariza las ondas de radio según una nomenclatura de letras. Teniendo en consideración que diversos rangos de frecuencias tienen diferentes aplicaciones o servicios en función a las propiedades de las ondas electromagnéticas, en ese rango de frecuencias.

Tabla 2.4: Bandas del espectro de radiofrecuencia y sus principales aplicaciones
Fuente: Fundamentos de Aplicaciones en Electromagnetismo, Fawwaz

Frecuencia (Hz)		Banda	Aplicaciones
Microondas	300 GHz	Frecuencia extremadamente alta EHF (30 - 300 GHz)	Radar, sistemas de comunicación avanzados, detección remota, radioastronomía
	1 GHz	Frecuencia súper alta SHF (3 - 30 GHz)	Radar, sistemas de comunicación satelitales, navegación aérea, radioastronomía, detección remota
	10 ⁹	Frecuencia ultra alta UHF (300 MHz - 3 GHz)	Difusión de TV, radar, radioastronomía, hornos de microondas, teléfonos celulares
		Frecuencia muy alta VHF (30 - 300 MHz)	Difusión de TV y FM, comunicación vía radio móvil, control de tráfico aéreo
	1 MHz	Frecuencia alta HF (3 - 30 MHz)	Radiodifusión de onda corta
		Frecuencia mediana MF (300 kHz - 3 MHz)	Radiodifusión de AM
		Frecuencia baja LF (30 - 300 kHz)	Radio faros, estaciones emisoras meteorológicas para navegación aérea
	1 kHz	Frecuencia muy baja VLF (3 - 30 kHz)	Navegación y localización de posiciones
		Frecuencia ultra baja ULF (300 Hz - 3 kHz)	Señales de audio en teléfonos
		Frecuencia súper baja SLF (30 - 300 Hz)	Detección ionosférica, distribución de energía eléctrica, comunicación submarina
	1 Hz	Frecuencia extremadamente baja ELF (3 - 30 Hz)	Detección de objetos metálicos enterrados
		$f < 3 \text{ Hz}$	Detección magnetotélúrica de la estructura terrestre

Además, Wayne Tomasi en su libro "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas", menciona que los sistemas de comunicación electrónicos tienen como objetivo transmitir información entre dos o más lugares y para realizar esta acción es necesario convertir la información original en energía electromagnética para medios no guiados. Las ondas electromagnéticas no requieren de un medio para transmitirse, esto quiere decir, que se pueden transmitir inclusive en el vacío. En el vacío la velocidad de las ondas electromagnéticas es igual a la velocidad de la luz, pero en el aire es menor.

El espectro electromagnético va desde las frecuencias subsónicas hasta los rayos cósmicos, lo cual se muestra en la siguiente figura.

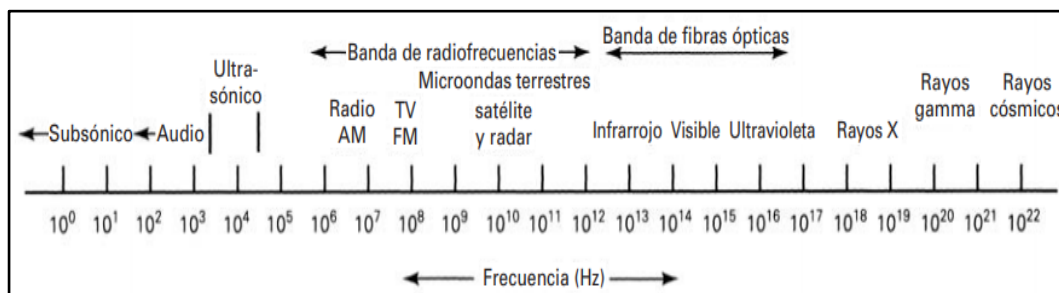


Figura 2.9: Espectro electromagnético
Fuente: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wyne Tomasi

2.1.6 Satélites

Timothy Pratt en su libro “*Satellite Communications*” y Wyne Tomasi en su libro “*Sistemas de comunicaciones Electrónicas*”, conceptualizan a los satélites de la siguiente manera:

- En términos astronómicos, como un cuerpo celeste que gira alrededor de un planeta en una órbita definida. Por ejemplo, la Luna es un satélite de la Tierra.
- En términos aeroespaciales, es un vehículo espacial lanzado por humanos, que gira alrededor de la Tierra en una órbita. Por ejemplo, los satélites de comunicaciones para suscriptores militares, gubernamentales, privados y comerciales.

Un satélite de comunicación es una repetidora de microondas que está en el cielo y consta de dispositivos como: receptor, transmisor, regenerador, filtro, computadora de a bordo, multiplexo, demultiplexor, antena, guía de onda, radiorepetidoras (transpondedores) y otros equipos para realizar las comunicaciones electrónicas.

Los satélites de los que se hablará son los que giran alrededor de la Tierra, denominados orbitales o asíncronos; estos satélites pueden tener orbitas elípticas o circulares.

2.1.7 Órbitas satelitales

Gerard Maral en su libro “*Satellite Communications Systems*” conceptualiza que, una órbita es la trayectoria que un satélite sigue dentro un plano y generalmente en forma de elipse. Según las leyes de la física, cuando los

satélites están en girando en su órbita y se alejan de la Tierra entonces su velocidad disminuirá y pasará lo contrario cuando se acerquen a la Tierra.

Si el satélite tiene su órbita en la misma dirección que la rotación de la tierra, es decir, en sentido de las agujas del reloj (horario) y su velocidad es superior a la velocidad de la Tierra ($w_s > w_e$) entonces la órbita se le denomina prógrada o posígrada. Si su órbita va en dirección opuesta a la órbita de la Tierra, es decir, en sentido antihorario y su velocidad angular es menor que la velocidad angular de la Tierra ($w_e > w_s$) entonces la órbita del satélite se denominará retrógrada.

Las órbitas satelitales se clasifican según su elevación y según su inclinación.

2.1.7.1 Satélites según su elevación

Jiandong Sun en su libro “*China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2016 Proceedings: Volumen II*” y Roy Blake y Leo Chartrand en su libro “*Wireless Communication Technology*”, proponen la siguiente clasificación de satélites según su elevación:

- Órbita terrestre baja (LEO, por sus siglas en inglés: *Low Earth Orbit*), la mayoría de estos satélites trabajan a una altitud entre 300 Km y 1500 Km, en el rango de frecuencias de 1.0 a 2.5 GHz. Estos satélites tienen como ventaja que minimizan la pérdida de trayectoria entre las estaciones terrenas y los vehículos espaciales, esto se refleja en menores potencias de transmisión, menor tamaño de antena y menor peso.
- Órbita terrestre intermedia (MEO, *Medium Earth Orbit*), en el rango de frecuencias de 1.2 a 1.66 GHz, están a una altura entre 6000 y 12000 millas respecto a la Tierra.
- Órbita terrestre geoestacionaria o geosíncrona (GEO, *Geostationary* o *Geosynchronous Earth Orbit*), trabajan en el rango de frecuencias de 2 a 18 GHz, están a una altura de 22.300 millar respecto a la Tierra (aprox. a una altitud de 36000 Km), tienen tiempo de órbita aproximado de 24 horas, es decir, dan la sensación de estar en una posición fija con respecto a un determinado punto de la Tierra. Por eso, se les llama satélites geoestacionarios.

La gráfica adjunta muestra las órbitas de los satélites según su elevación,

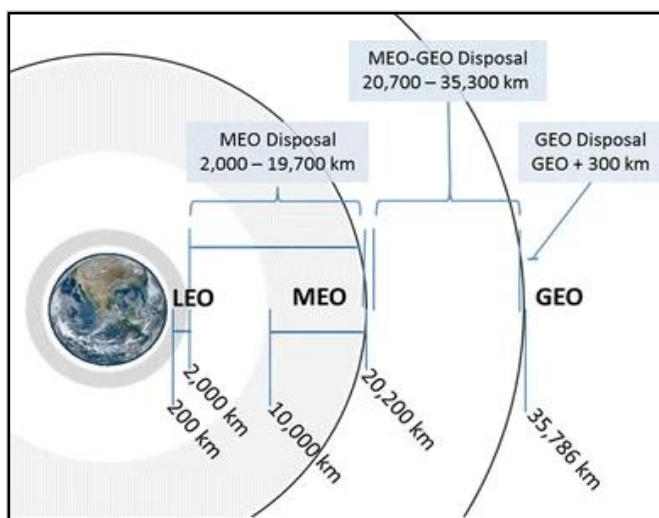


Figura 2.10: Satélites según su elevación

Fuente: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13753-015-0073-2/figures/1>

2.1.7.2 Satélites según su inclinación

Wyane Tomasi, menciona que, todos los satélites describen una órbita que define un plano que incluye al centro de gravedad de la Tierra. Además, aunque las trayectorias orbitales son infinitas, existen tres trayectorias orbitales utilizadas para los satélites de comunicación: inclinada, ecuatorial y polar.

Las órbitas inclinadas, son todas las órbitas excepto las que contienen a la línea ecuatorial o los polos Norte y Sur. El ángulo de inclinación de una órbita es el ángulo que forma el plano ecuatorial y el plano orbital del satélite y se mide de sur a norte.

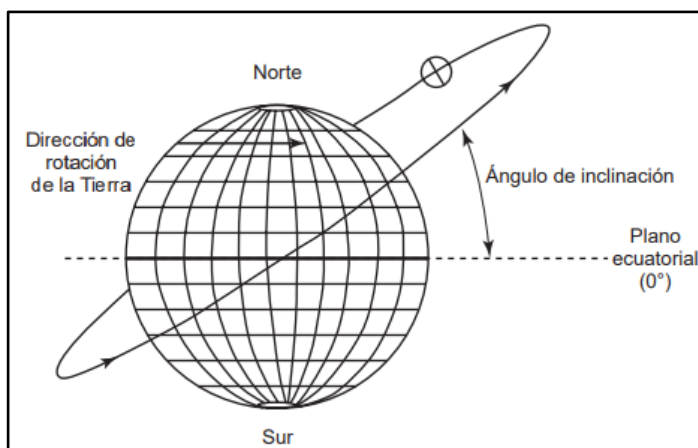


Figura 2.11: Ángulo de inclinación de la órbita de un satélite
Fuente: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wyne Tomasi

Además, se define el nodo ascendente, que es el punto donde la órbita del satélite cruza al plano ecuatorial cuando el satélite va de norte a sur y el nodo descendente, que es el punto donde la órbita del satélite cruza el plano ecuatorial cuando el satélite va de sur a norte. La línea que une los nodos se le conoce como línea de los nodos (ver la figura adjunta Figura 2.12).

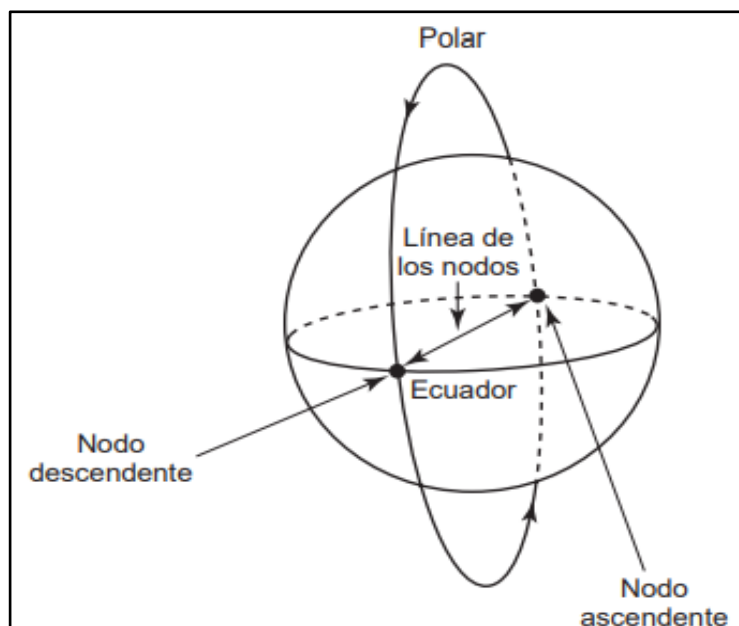


Figura 2.12: Nodo ascendente y descendente de la órbita de un satélite
Fuente: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wyne Tomasi

La órbita ecuatorial, es cuando el plano de la órbita del satélite contiene la línea ecuatorial, por lo general es una trayectoria circular. El ángulo de inclinación es cero y no existen nodos. Todos los satélites geoestacionarios son de órbita ecuatorial.

La órbita polar, es cuando el plano de la órbita del satélite contiene los polos Norte y Sur. El ángulo de inclinación de la órbita de un satélite polar es de casi 90° . Se resalta que con un solo satélite en órbita polar se podría cubrir el 100% de la superficie terrestre, puesto que, la órbita del satélite es longitudinal y la Tierra gira en forma latitudinal. Por esta razón, la radiación del satélite es una espiral que cubre todo el planeta Tierra y, por lo tanto, está al alcance del satélite hasta dos veces al día.

La siguiente figura nos muestra la gráfica de las tres trayectorias orbitales explicadas.

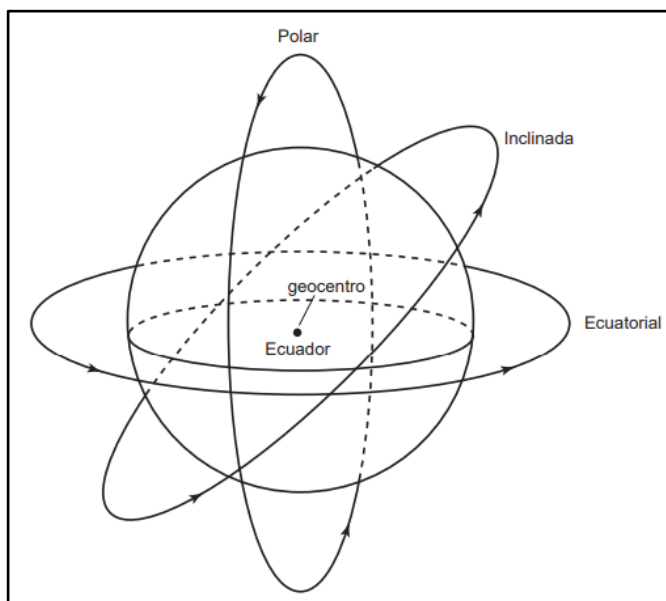


Figura 2.13: Órbitas de los satélites de comunicación
Fuente: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wyne Tomasi

2.1.8 Modulación de señales analógicas

Sergio Gallardo en su libro “Elementos de Sistemas de Telecomunicaciones”, menciona que, en un sistema de comunicaciones electrónicos, la información procedente de una fuente se debe convertir en una señal adecuada para su transmisión, mediante un transductor. Algunas de las razones por las que se debe realizar este proceso son:

- La señal de la información no puede transmitirse directamente por el medio. Es el caso de las señales de radiofrecuencia, que se deben desplazar en frecuencia para ser radiadas sin necesidad de tener antenas de tamaño o potencia excesivas.
- Existe interferencia o ruido EMI (Interferencia Electromagnética) que afectan a la comunicación, generados por inversores de tensión, motores, entre otros. Además, la frecuencia del suministro eléctrico (60 hercios), se inducen en los cables de comunicación desde los cables eléctricos o fuentes de alimentación.
- Necesidad de compartir el medio de transmisión con otras señales de información. Esto se implementa dividiendo el ancho de banda del medio de transmisión en canales de comunicación, los cuales son porciones del ancho de banda del medio de transmisión.

Es por eso que, para separar diferentes señales que están en el mismo espectro de frecuencia de banda base (sonido, imagen, etc.), se deben trasladar en el espectro de frecuencia de modo que cada señal ocupe un canal diferente y así se puedan transmitir por el mismo medio (cable o fibra o aire).

Según Constantino Pérez Vega en su libro "Sistemas de Telecomunicación" conceptualiza a la modulación como el proceso de trasladar una señal en banda base con un rango de frecuencias (ancho de banda) a otro rango de frecuencia (canal). La señal que se trasladará se denominará señal modulada.

Además, Wyne Tomasi, en su libro "Sistemas de Comunicación Electrónicas", nos menciona que si tenemos una señal de información de la siguiente forma:

$$v(t) = V \text{sen}(2\pi ft + \theta)$$

Se puede definir que, si $v(t)$ es la señal es analógica, entonces:

- La modulación de amplitud (AM, *Amplitude Modulation*) se dará cuando la amplitud V es proporcional a la señal $v(t)$.
- La modulación de frecuencia (FM, *Frequency Modulation*), es cuando la frecuencia (f) varía proporcionalmente con la señal $v(t)$.
- La modulación de fase (PM, *Phase Modulation*), se dará cuando la fase (θ) varía en forma proporcional a la señal $v(t)$.

Para entender mejor el concepto se describirá el proceso de la modulación AM (amplitud modulada), para lo cual se define una señal coseno de frecuencia única:

$$f_m: x(t) = A \cos(\omega_m t)$$

Donde: $\omega_m = 2\pi f_m$ es la frecuencia angular en radianes por segundo y $x(t)$ es la señal moduladora.

Definimos la señal portadora coseno $y(t)$, de frecuencia f_c , la cual debe ser mucho mayor que f_m

$$y(t) = B \cos(\omega_c t)$$

Estas dos señales serán cosenos, por lo que, tienen una sola componente espectral cada una, tal como se muestra en la figura.

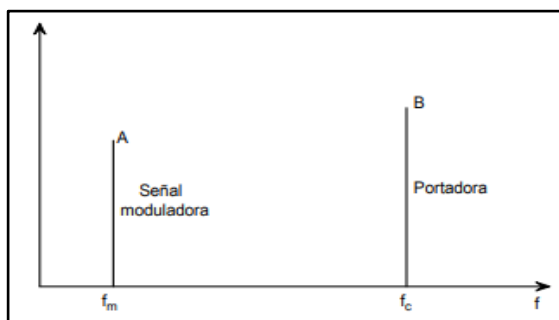


Figura 2.14: Espectro de la señal moduladora y portadora f_m y f_c
Fuente: Sistemas de Telecomunicación, Constantino Pérez Vega

Ahora, si las señales $y(t)$ y $x(t)$ se multiplican entonces se tendrá una nueva señal:

$$z(t) = \frac{AB}{2} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t]$$

Esta señal tendrá dos componentes espectrales en $(f_c - f_m)$ y $(f_c + f_m)$. Tal como se muestra en la siguiente figura.

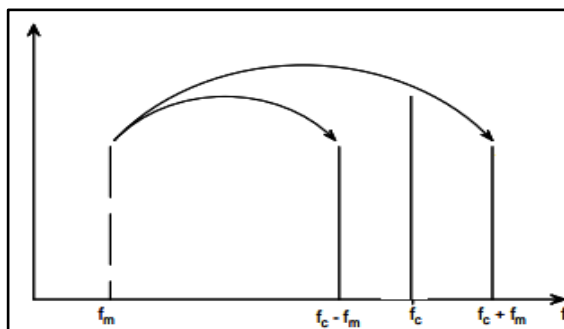


Figura 2.15: Espectro de la señal modulada
Fuente: Sistemas de telecomunicación, Constantino Pérez Vega

Se aprecia que, mediante el proceso de modulación, se han variado los rangos de la frecuencia de la señal moduladora.

A este tipo de modulación se le denomina modulación de amplitud, con doble banda lateral y portadora.

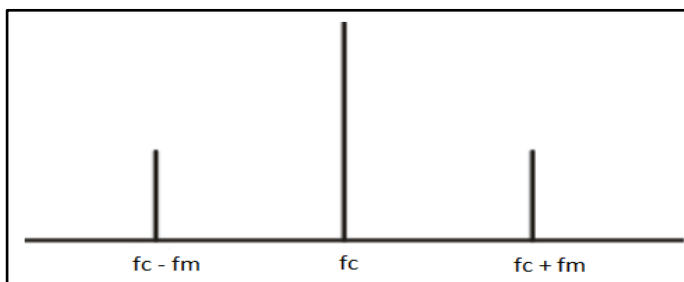


Figura 2.16: Modulación de una señal
Fuente: elaboración propia

Donde, f_c : frecuencia de la señal portadora; f_m : frecuencia de la señal moduladora; $(f_c - f_m)$: frecuencia lateral inferior; $(f_c + f_m)$: frecuencia lateral superior.

2.1.9 Modulación de señales digitales

Wyne Tomasi, en su libro "Sistemas de Comunicación Electrónicas", nos menciona que si tenemos una señal de información de la siguiente forma:

$$v(t) = V \text{sen}(2\pi ft + \theta)$$

Se define $v(t)$ como una señal portadora, entonces:

Si la señal moduladora $v_m(t)$ es una señal digital, entonces:

- La modulación por desplazamiento de amplitud (ASK, *Amplitude Shift Keying*), se dará cuando la amplitud de la portadora varía en forma proporcional a la señal moduladora.
- La modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK, *Frequency Shift Keying*), se dará cuando la frecuencia de la portadora varía en forma proporcional a la señal moduladora.
- La modulación por desplazamiento de fase (PSK, *Phase Shift Keying*), se dará cuando la fase de la portadora varía en forma proporcional a la señal moduladora.

En la siguiente figura se representa las señales binarias (1 o 0) moduladas en ASK, FSK y PSK, respectivamente.

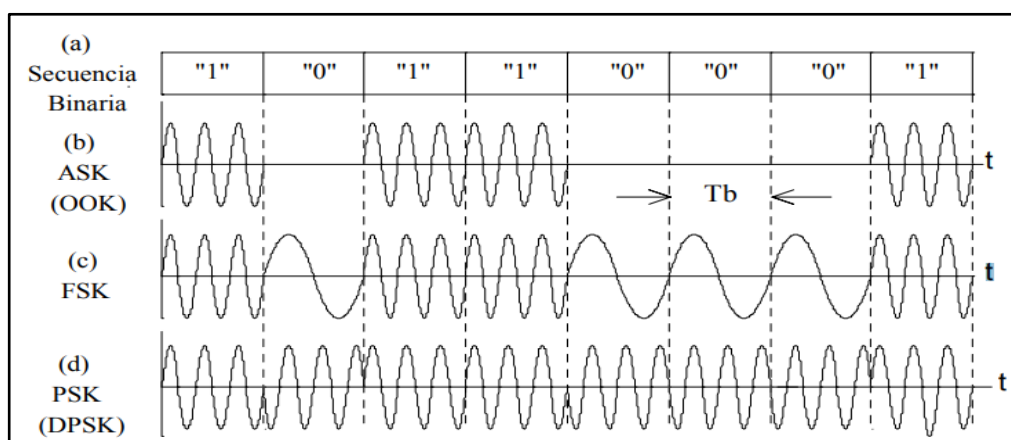


Figura 2.17: Modulación de una señal binaria en ASK, FSK y PSK (DPSK)
Fuente: Transmisión de datos, José Briceño

En la figura adjunta resume lo explicado anteriormente:

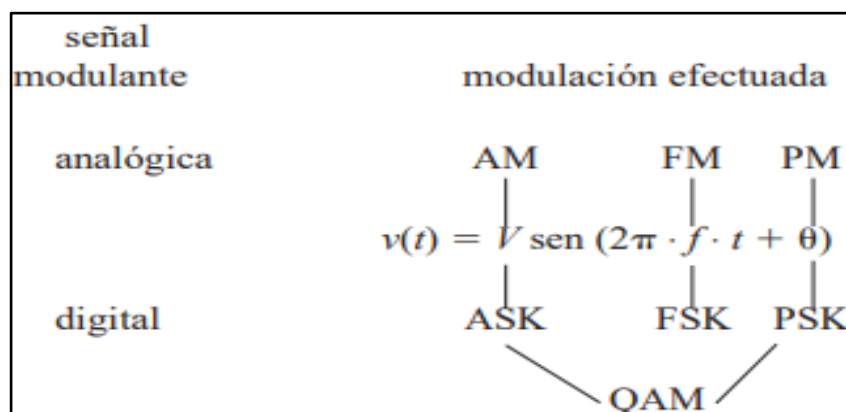


Figura 2.18: Modulación de una señal analógica y digital
Fuente: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wyne Tomasi

Las figuras muestran los modelos para la transmisión y recepción de las señales binarias por modulación digital. Utilizando un modulador y demodulador, denominado Módem. A la señal binaria se le aplicó una Modulación de Impulsos Codificados (PCM, *Pulse-Code Modulation*).

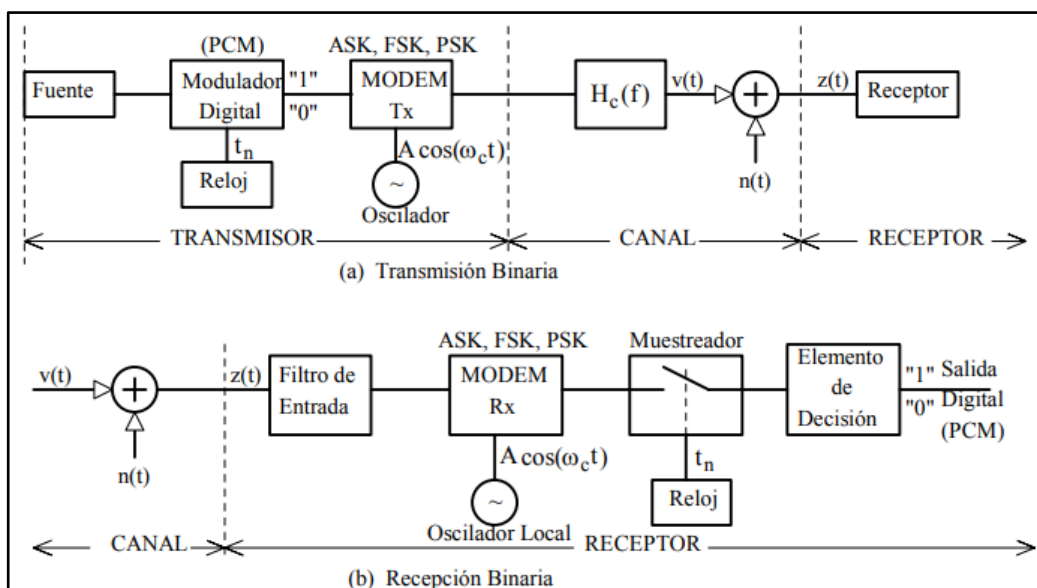


Figura 2.19: Transmisión y recepción de una señal binaria con portadora modulada
Fuente: Transmisión de Datos, José Briceño

Timothy Pratt en su libro "*Satellite Communications*" menciona que, las modulaciones FSK, PSK o la combinación de ASK y PSK son las que se utilizan frecuentemente en las modulaciones digitales. La combinación de las modulaciones ASK y PSK definen las siguientes modulaciones digitales: Modulación por desplazamiento de Amplitud y Fase (APSK, *Amplitude Phase Shift Keying*) y la Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM, *Quadrature Amplitude Modulation*).

En la actualidad se utilizan más las modulaciones digitales que las modulaciones analógicas.

2.1.9.1 Modulación por desplazamiento de fase PSK

La modulación de fase PSK (*Phase Shift Keying*) es la más utilizada universalmente en la comunicación entre satélites.

En la modulación PSK, la fase de la portadora sinusoidal se varía de valor a 0° o a 180° según el dígito binario recibido. Los valores de 0° y 180° son los más utilizados porque los circuitos de modulación o demodulación se simplifican considerablemente.

La señal PSK tiene la siguiente forma:

$$x_{\text{PSK}}(t) = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} \cos(2\pi f_c t - \phi_i) \cdot \Pi\left(\frac{t - nT_b}{T_b}\right)$$

Donde, ϕ_i es la fase que puede tomar diversos valores.

Cuando la fase de la señal moduladora PSK (ϕ_i) tiene 2 estados se denominará BPSK o Modulación Binaria por Desplazamiento de Fase (*Biphase Shift Keying*). Normalmente se utiliza los valores 0 y π , puesto que, son los valores que simplifican los circuitos de modulación y demodulación. En este caso, se transfiere 1 bits por cada símbolo (0 o 1).

Cuando la fase de la señal moduladora PSK (ϕ_i) toma 4 estados se denomina *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK). En este caso, se transfieren 2 bits por cada símbolo (00, 01, 10 y 11).

También es posible tener otros números de estado y también otras combinaciones de amplitud y fase. Por ejemplo, para aplicaciones de DTH *Satellite TV (Direct To home)* tenemos que, el estándar DVB-S (*Digital Video Broadcast – Satellite*) emplea QPSK con 2 bits por símbolo y el estándar DVB-S2 (*Digital Video Broadcasting Second Generation*) recomienda usar QPSK y 8-PSK. La figura muestra las 3 combinaciones: BPSK, QPSK y 8-PSK.

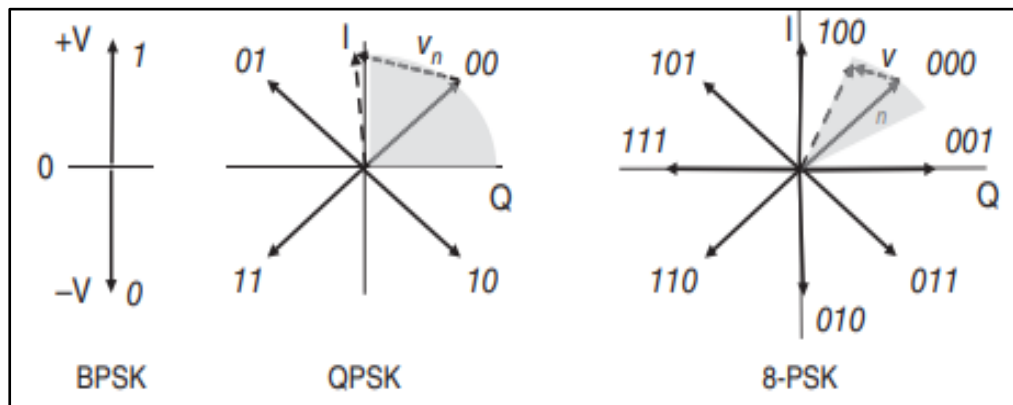


Figura 2.20: Diagrama de constelación de modulaciones BPSK, QPSK y 8-PSK
Fuente: *Satellite Communications*, Timothy Pratt

2.1.9.2 Modulación binaria por desplazamiento de fase BPSK o PRK

En la modulación BPSK (*Biphase Shift Keying*) o PRK (*Phase Reversal Keying*) y con una frecuencia de portadora, se tienen dos posibles fases de salida. Una salida representará el 0 lógico y la otra salida representará el 1 lógico. Además, cuando la señal de entrada digital cambia de estado, la fase de la portadora de salida varía entre dos ángulos que están desfasados 180° .

La figura adjunta se muestra el diagrama de bloques de un modulador de señal BPSK, en donde el modulador balanceado funciona como conmutador de inversión de fase. Además, dependiendo de la condición lógica de la entrada digital, la portadora tendrá una salida de con la misma fase o desfasada 180° respecto al oscilador de la portadora.

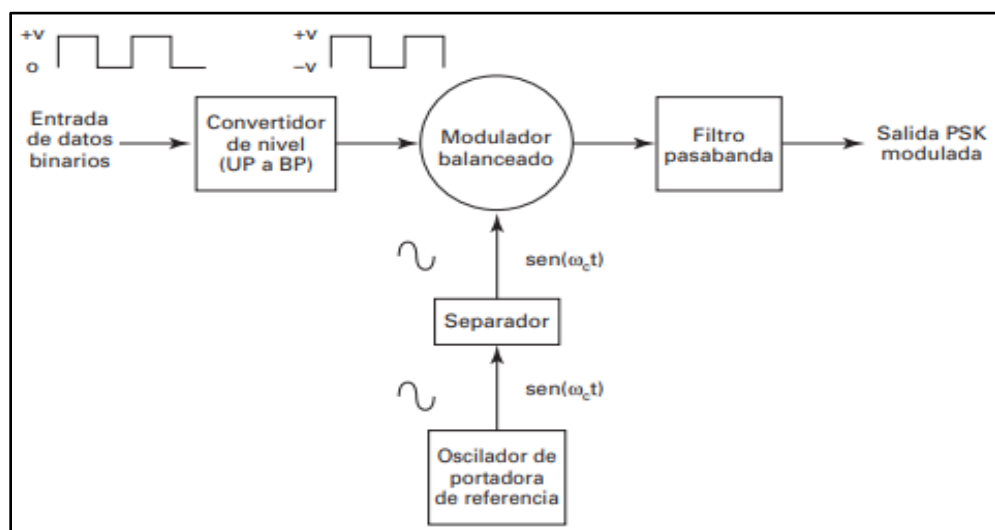


Figura 2.21: Modulador BPSK
Fuente: *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*, Wyne Tomasi

En la siguiente figura Figura 2.21 se muestra el esquema de un modulador de anillo balanceado, en donde, se tienen dos entradas: una es la portadora, que está en fase con el oscilador, y la otra es la señal de los datos binarios. Para que la entrada de la señal digital controle el encendido y apagado de los diodos (D1 y D4) entonces el voltaje máximo de la portadora debe ser mucho menor que el voltaje de la entrada digital.

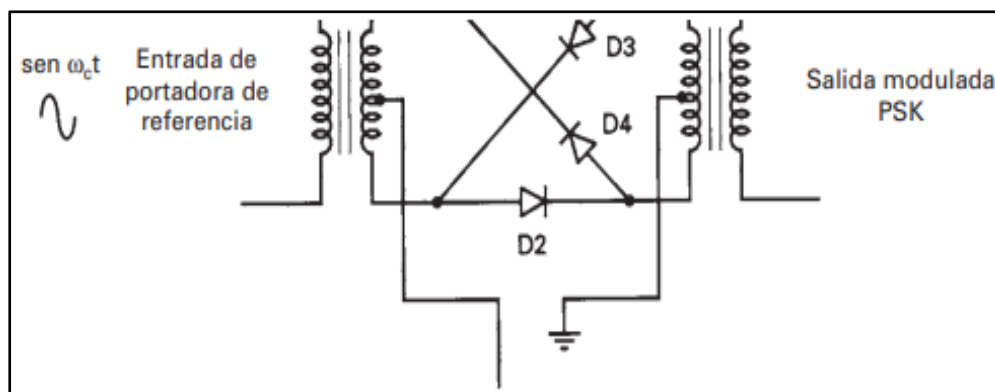


Figura 2.22: Modulador de anillo balanceado BPSK
Fuente: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wyne Tomasi

En la siguiente figura se muestra que, si el voltaje de la señal binaria es un 1 lógico (voltaje positivo) entonces los diodos D1 y D2 tienen polarización directa, por lo tanto, están encendidos; pero los diodos D3 y D4 tienen polarización inversa, por lo que, están apagados. El transformador desarrolla el voltaje en fase con el voltaje de la portadora, por medio de T1. Por lo anteriormente explicado, la señal de salida estará en fase con la señal del oscilador de referencia o entrada portadora.

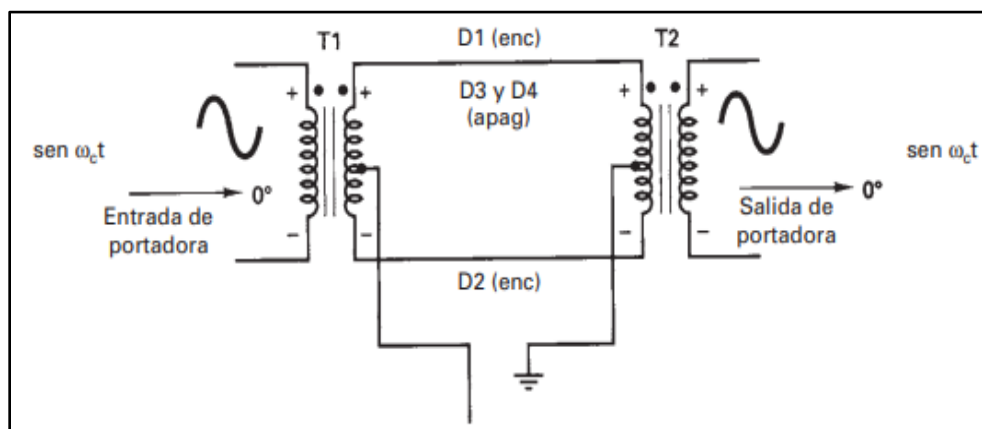


Figura 2.23: Modulador BPSK en fase con la señal de entrada portadora
Fuente: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wyne Tomasi

En la siguiente figura muestra que, si la señal de entrada binaria es un 0 lógico (voltaje negativo) entonces los diodos D1 y D2 tendrán una polarización inversa, por lo que, estarán cerrados; pero los diodos D3 y D4 tienen polarización directa, por lo que, estarán abiertos. Además, la potencia de la portadora se desarrolla por el transformador T2 pero desfasado 180° , respecto al voltaje de la portadora a través de T1. Por lo que, la señal de salida estará desfasada en 180° respecto al oscilador o entrada de portadora.

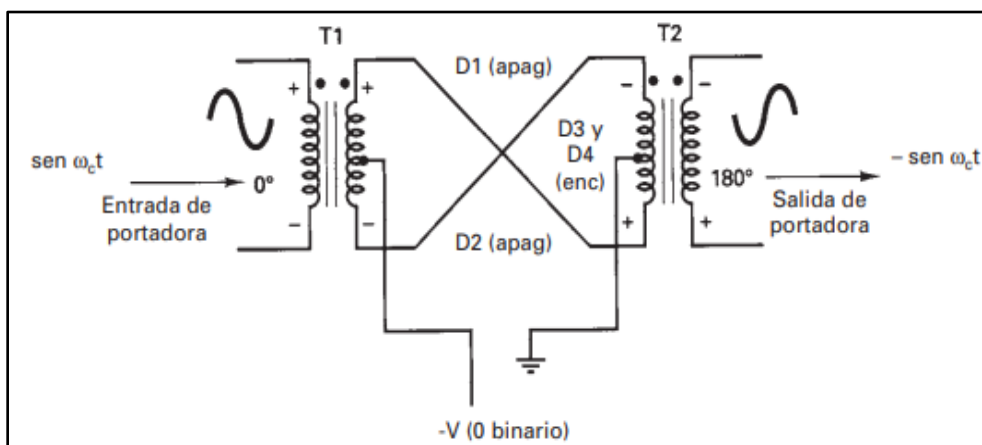


Figura 2.24: Modulador BPSK desfasado 180° respecto a la señal de portadora
Fuente: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wyne Tomasi

La siguiente figura se muestra la gráfica de la señal de entrada binaria y la señal de salida modulada BPSK.

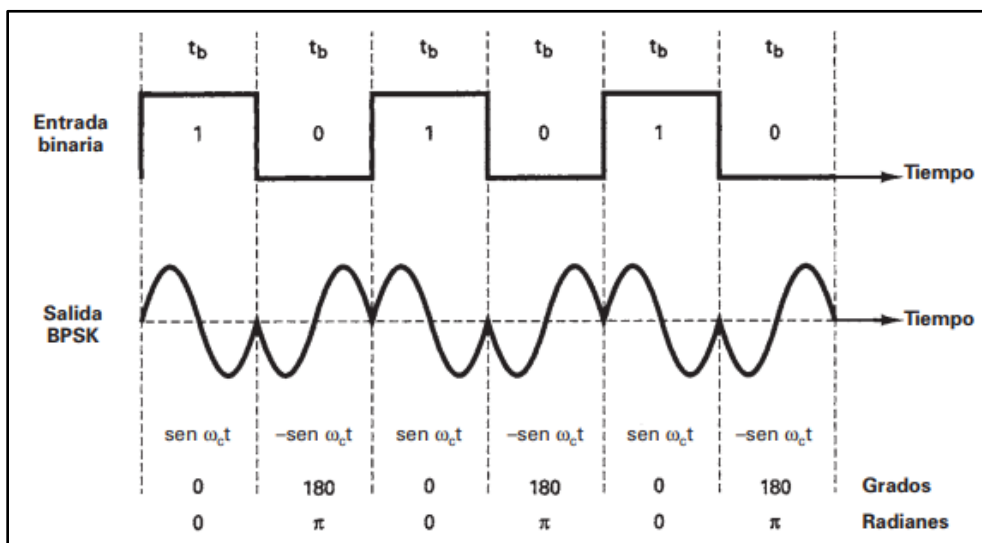


Figura 2.25: Señal de entrada binaria y salida de modulación BPSK
Fuente: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wyne Tomasi

La señal de salida en el modulador BSKP balanceado se genera multiplicando la señal de entrada de portadora por la señal de los datos binarios. Además, si se asigna a la señal de datos 1 V (voltio) al 1 lógico y -1 V (voltio) al 0 lógico; y a la señal de entrada de portadora ($\text{sen } w_c t$), entonces se aprecia que, con la señal de entrada en 1 lógico, la señal de salida sería ($\text{sen } w_c t$), es decir, las dos señales están en fase; pero si la señal de entrada es un 0 lógico entonces la señal de salida sería ($-\text{sen } w_c t$), es decir, las señales estarían desfasadas 180°.

Respecto a la tasa de cambio de la salida (baudios), en la modulación BPSK, es igual a la tasa de cambio de entrada (bps) y el ancho de banda máximo de salida se representa cuando la señal de entrada son 1 y 0 alternadamente. Si se define la frecuencia de la señal de dato como la frecuencia fundamental (f_a) de una secuencia alternada de 1 y 0, entonces vemos que esta sería la mitad de la frecuencia de bits ($f_b/2$). De lo explicado anteriormente tenemos que:

$$\text{Salida BPSK} = [\text{sen}(2\pi f_a t)] \times [\text{sen}(2\pi f_c t)]$$

Donde, f_a es la frecuencia fundamental máxima de la entrada binaria y f_c es la frecuencia de la portadora de referencia (Hertz).

Al usar las fórmulas de trigonometría tenemos que:

$$\frac{1}{2} \cos[2\pi(f_c - f_a)t] - \frac{1}{2} \cos[2\pi(f_c + f_a)t]$$

Por lo que, el ancho de banda bilateral mínimo de Nysquist, F_N , es: ($f_c + f_a$) - ($f_c - f_a$) = $2f_a$, pero como sabemos que $f_a = f_b/2$, entonces tenemos que, el ancho de banda mínimo bilateral de Nysquit de la modulación BPSK es $B = f_b$.

Como se explicó anteriormente, la modulación BPSK se usa en las comunicaciones satelitales, pero como menciona Mohinder Grewal Angus Andrews y Chris Bartone en su libro "*Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration*", esta modulación también la podemos ver frecuentemente en satélites para el servicio de GPS. Como, por ejemplo, en la constelación de satélites geoestacionarios del *Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS)*, la cual es operada por el *Navigation with Indian Constellation (NavIC)*.

2.1.9.3 Modulación de Amplitud en Cuadratura u Ortogonal QAM

En el caso más básico de la modulación QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) se tiene dos señales de banda lateral moduladas ortogonalmente, es decir, se puede transmitir dos señales de datos independientes, pero utilizando el mismo canal con lo que se consigue un ahorro considerable del ancho de banda. Esto es posible porque una señal se modula con una señal de portadora coseno y la otra utilizará la señal seno.

Para un mejor entendimiento, se puede decir que, consiste en una portadora sinusoidal modulada en fase o amplitud o ambas, se puede considerar también como una superposición de portadoras desfasadas en un ángulo. Tal como, se muestra en la figura.

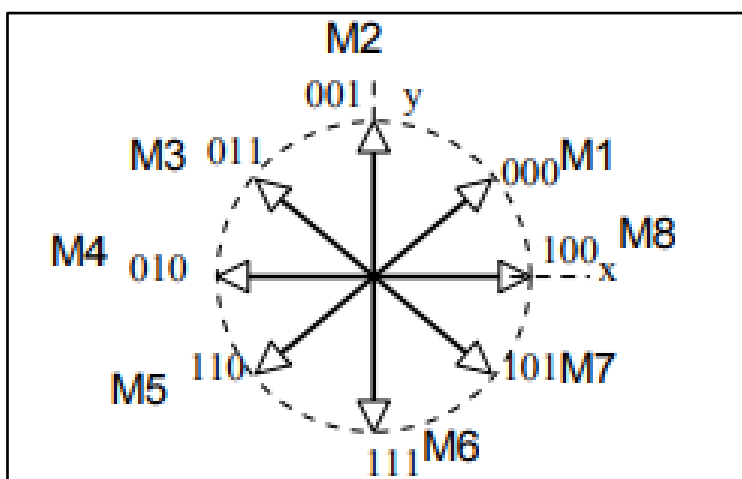


Figura 2.26: Modulación QAM

Fuente: *Satellite Communications*, Timothy Pratt

Como se puede apreciar, los fasores M_2 , M_8 , M_6 y M_4 están desfasados 90° entre sí, es decir, son fasores ortogonales, pero también están desfasados 45° respecto a los fasores M_1 , M_7 , M_5 y M_3 , los cuales también están desfasados 90° entre sí, lo que permite la modulación compuesta de Amplitud-Fase o Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM). Extrapolando la definición anteriormente mencionada podemos combinar múltiples niveles de voltajes, con lo que tendríamos 256-QAM (para 8 bits por símbolo), 1024-QAM (para 10 bits por símbolo).

Para satélites de comunicación de órbita geoestacionaria (GEO) se utilizan 8-QAM y 16-QAM o sus equivalentes 8-PSK o 16-PSK.

2.1.9.4 Modulación de fase en Cuadratura u Ortogonal QPSK

La modulación QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), se genera a partir de dos modulaciones BSPK y dos señales portadoras en fases ortogonales. Se utiliza una fuente osciladora para generar una modulación en fase y otra desfasada 90°. El canal generado por la onda en fase se denomina canal "I" y el canal generado por la señal ortogonal se denomina canal "Q". Si la modulación QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) tiene una amplitud de V voltios entonces la entrada portadora tendrá una magnitud de $V/\sqrt{2}$.

La modulación QPSK con fase φ la señal de entrada portadora es:

$$v(t) = V/\sqrt{2} \cos(\omega_c t - \varphi)$$

Donde φ puede tomar uno de los cuatro posibles valores: 45°, 135°, 225°, 315°. Usando las fórmulas de trigonometría, tenemos que la señal de entrada portadora será:

$$v(t) = V/\sqrt{2} [\cos(\omega_c t) \cos\varphi + \sin(\omega_c t) \sin\varphi]$$

Se puede apreciar que el primer término es una señal BSPK en fase con la señal de entrada portadora, a la cual se le llamará canal "I" y el segundo término es una señal BSPK ortogonal con la señal de entrada portadora, a la cual se le llamará canal "Q". Así, la modulación QPSK se puede representar por:

$$v(t) = u_i V \cos(\omega_c t) + u_q V \sin(\omega_c t)$$

Donde u_i representa a la señal binaria modulada en el canal "I" y u_q representa la señal binaria modulada en el canal "Q". También se puede apreciar que, para el 1 lógico, u_i o u_i tomarán el valor de 1 y para el 0 lógico, u_i o u_i tomarán el valor de -1. La figura muestra el diagrama de bloques de la modulación QPSK.

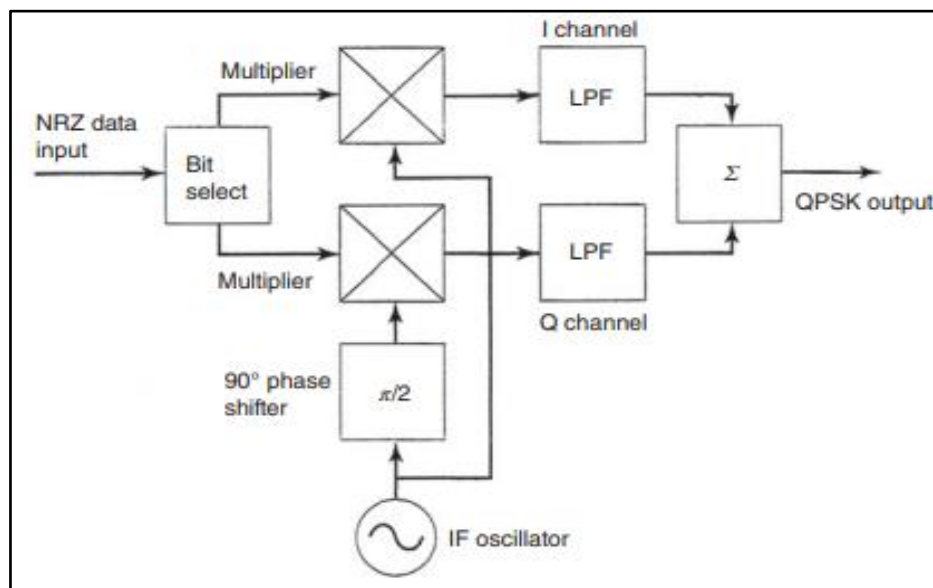


Figura 2.27: Modulador QPSK
Fuente: Satellite Communications, Timothy

2.1.9.5 Modulación M-aria

José Briceño en su libro “Transmisión de Datos” conceptualiza la modulación PSK M-aria y menciona que se debe tener en cuenta que, en una modulación binaria, la frecuencia de señalización está limitada por el ancho de banda del canal de transmisión, pero también se pueden transmitir M valores de amplitud, frecuencia o fase de una portadora sinusoidal, con esta acción cada baudio podrá transmitir más de un bit de la señal de información, con lo que, se aumenta el rendimiento del ancho de banda. Al respecto, solo para el caso de la modulación FSK M-aria es necesario aumentar el ancho de banda requerido.

Con la modulación FSK M-aria se puede transmitir hasta 14400 bps con una velocidad de modulación máxima de 2400 baudios. En los enlaces de microondas usualmente se utiliza PSK 4-ario y PSK 8-ario; en los sistemas satelitales también se utiliza PSK 4-ario y PSK 8-ario, con una velocidad de transmisión de 64 Kbps y un ancho de banda de 38Khz.

La modulación PSK M-aria se utiliza para mejorar el rendimiento del ancho de banda del canal de transmisión y la inmunidad al ruido, pero se debe incrementar la potencia requerida.

2.1.9.6 Modulación PSK M-aria

Una señal de datos con L dígitos, se modula con PSK M-aria, dando como resultado la señal modulada de la siguiente forma:

$$s_m(t) = A \cos(2\pi f_c t - 2\pi m / M) \quad \text{para } m = 0, 1, 2, \dots, (M-1)$$

Donde, A es la amplitud, f_c la frecuencia, pero con un ángulo de desfase $\varphi = 2\pi m/M$, para $m = 0, 1, 2, 3, \dots, (M-1)$, donde $M = 2^L$

Además, en el intervalo de T_s , el desfase φ se mantiene constante, por lo que la señal modulada tendrá la siguiente forma:

$$s_m(t) = X_m \cos(2\pi f_c t) + Y_m \sin(2\pi f_c t)$$

La misma señal en forma polar tendrá la siguiente forma:

$$s_m(t) = \sqrt{X_m^2 + Y_m^2} \cos(2\pi f_c t - \arctg \frac{Y_m}{X_m})$$

Donde:

$$X_m = A \cos(\phi_m) \quad \text{y} \quad Y_m = A \sin(\phi_m)$$

En la siguiente figura se muestra la señal modulada $S_m(t)$ en forma fasorial:

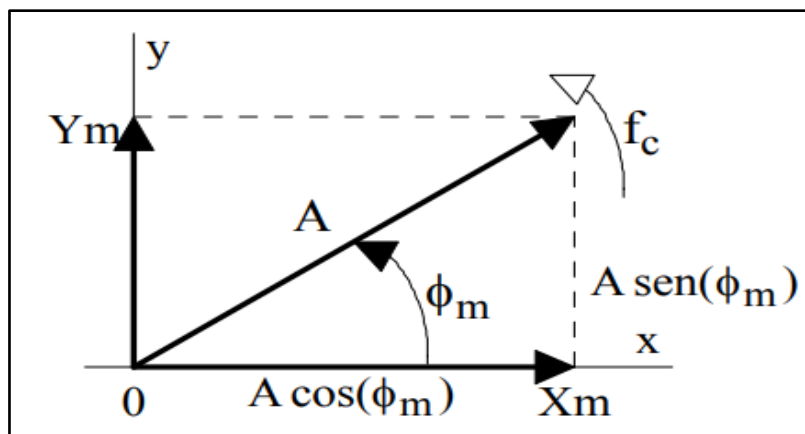


Figura 2.28: Modulación PSK M-aria en faser
Fuente: Transmisión de Datos, José Briceño

Si A es constante entonces el faser describirá un círculo de radio A y se tendrán M posiciones equidistantes. A cada posición M le corresponderá un bloque de L dígitos binarios. Tal como se muestra en la siguiente figura.

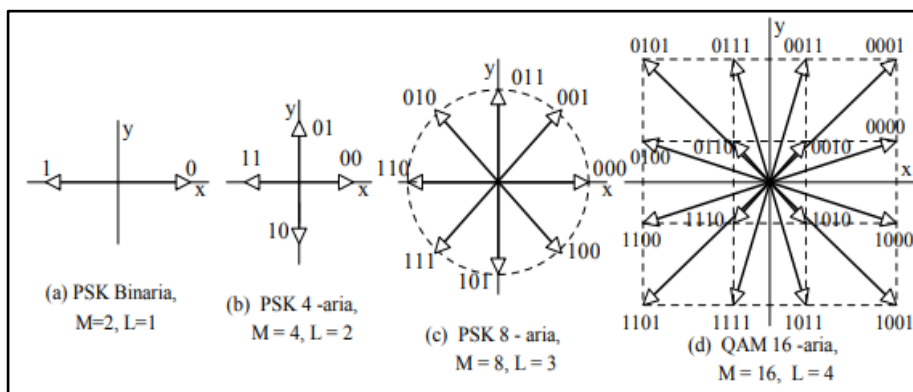


Figura 2.29: Modulación PSK M-aria
Fuente: Transmisión de datos, José Briceño

En general la modulación PSK M-aria tendrá la siguiente forma:

$$x_{\text{PSKM}}(t) = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} \cos(2\pi f_c t - \phi_m) \cdot \Pi\left(\frac{t - nT_s}{T_s}\right)$$

Donde la información toma valores de secuencia aleatorias ϕ_m . Además, la señal de entrada tiene una longitud de L dígitos, con una duración de T_{bL} pero $T_s = L T_{bL}$ o $f_s = f_{bL}$, de tal manera que, la velocidad viene dada por $V_{is} = 1/T_{bL} = L/T_s$, con lo que la ecuación quedará de la siguiente forma:

$$x_{\text{PSKM}}(t) = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[\cos(\phi_m) \cos(2\pi f_c t) + \text{sen}(\phi_m) \text{sen}(2\pi f_c t) \right]$$

En el intervalo T_s , la ecuación será:

$$x_{T_s}(t) = A \cos(\phi_m) \cos(2\pi f_c t) + A \text{sen}(\phi_m) \text{sen}(2\pi f_c t)$$

En el intervalo T_s tenemos que ϕ_m es constante entonces la densidad espectral de $X_{ts}(t)$ será de la siguiente forma:

$$S_{T_s}(f) = \frac{A^2}{4f_s} \left[\text{sinc}^2\left(\frac{f + f_c}{f_s}\right) + \text{sinc}^2\left(\frac{f - f_c}{f_s}\right) \right]$$

Para los casos prácticos se verifica que, $f_c \geq 2f_s$ para las modulaciones PSK M-aria. Por lo que, el ancho de banda será $2f_s$ y como $f_s = f_{bL}/L$, entonces la velocidad de la información por el mismo canal se incrementará en L veces. Donde, f_{bL} es la frecuencia de la señal de entrada del modulador y f_s es la frecuencia de salida de la señal modulada en PSK M-aria.

2.1.10 Transmisión de señales de televisión satelital

La Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (Citel), la cual pertenece a la Organización de Estados Americanos (OEA) desarrollará los conceptos respecto a las formas cómo se realiza la transmisión de las señales de televisión satelital.

2.1.10.1 Señal de televisión satelital por suscripción

Son las señales televisión satelital que utilizan el Sistema de Acceso Condicional (CAS, *Conditional Access Systems*). El motivo para que se utilice el CAS es para gestionar y proteger el contenido de las señales de televisión mediante una encriptación de señales de audio y video. Puesto que, estas señales se transmiten desde un satélite geoestacionario directo al hogar (DTH, *Direct to Home*).

Generalmente, para acceder a estas señales de audio y video se utiliza un decodificador o *set top box* (STB) y una tarjeta que contiene los parámetros para la descifrado del servicio televisión del suscriptor.

La encriptación se realiza a través de palabras claves o Control Words (CW), las cuales van encriptadas en mensajes de control de derechos o *Entitlement Control Messages* (ECM). A su vez, las ECM están encriptadas en llaves de transmisión que se encuentran en las tarjetas del STB.

El proceso que sigue una señal de televisión satelital por suscripción se muestra en la siguiente figura.

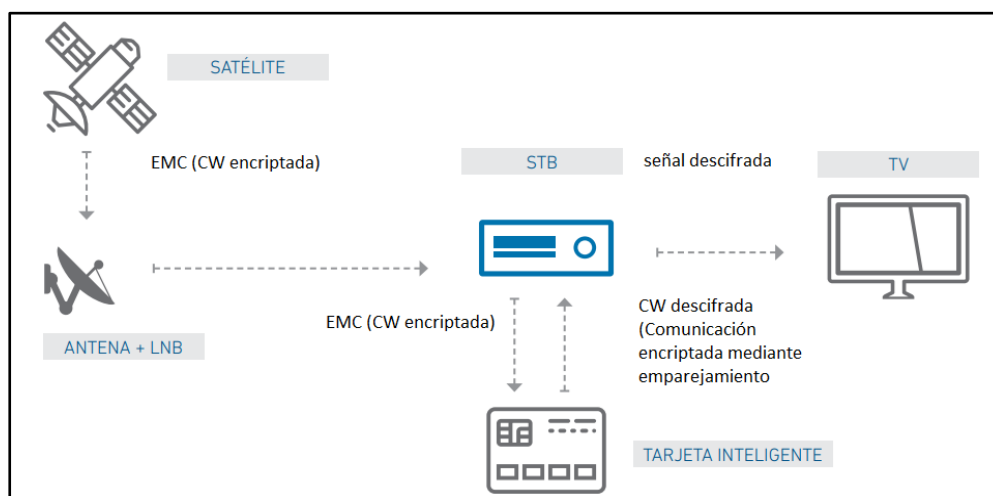


Figura 2.30 Televisión satelital por suscripción
Fuente: Citel, Televisión por suscripción

2.1.10.2 Señal de televisión satelital abierta

Son señales de televisión satelital que, son transmitidos sin ningún tipo de encriptación, es decir, no son protegidas por ningún tipo de Sistema de Acceso Condicional (CAS, *Conditional Access Systems*). Estas señales son conocidas como *Free to Air* (FTA).

Estas señales pueden ser recibidas y vistas por cualquier equipo conectado a un receptor satelital. Acá se utilizan *set to box* (STB) que no descifran ningún tipo de señal.

El proceso que sigue una señal de televisión satelital abierta o FTA se muestra en la siguiente figura.

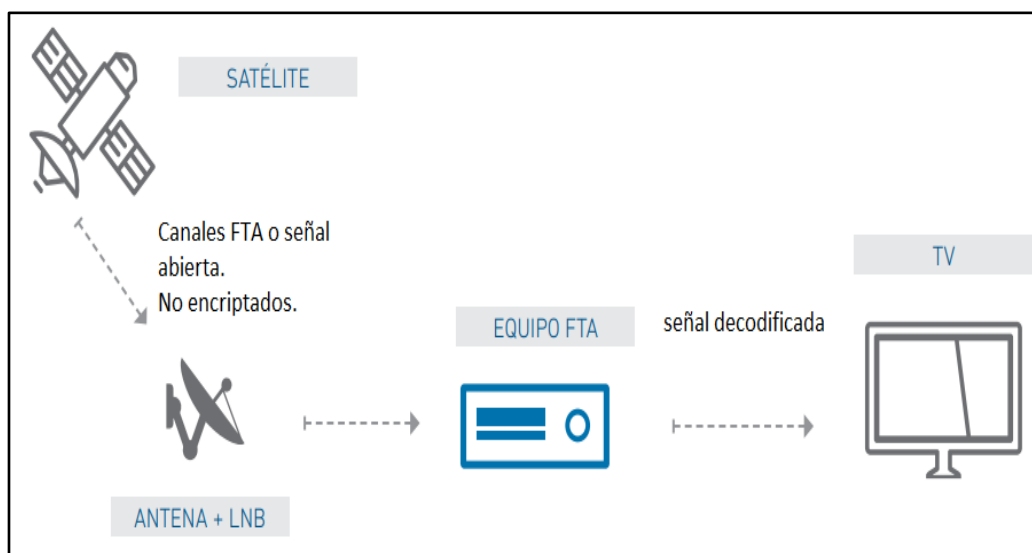


Figura 2.31: Televisión satelital abierta
Fuente: Citel, Televisión por suscripción

2.2 Marco Conceptual

Se especificarán los criterios relacionados al diseño del trabajo respecto a las especificaciones de las antenas satelitales y los equipos de telecomunicaciones requeridos para recibir las señales de televisión abierta desde satélites geoestacionarios en bandas C y Ku.

2.2.1 Satélites geoestacionarios

Wayne Tomasi, en su libro "Sistemas de Comunicaciones electrónicas", conceptualiza que, los satélites geoestacionarios o geosíncronos son los que orbitan sobre la línea ecuatorial con la misma velocidad angular que la Tierra.

Al estar sobre un punto fijo sobre la Tierra, no necesitan una antena especial para el rastreo y la estación terrestre solo apunta al satélite de manera permanente.

Para que los satélites geoestacionarios permanezcan en su órbita deben tener un equilibrio entre su fuerza centrífuga y la fuerza gravitacional de la Tierra. Si la fuerza centrífuga es mayor entonces el satélite se irá al espacio y si la fuerza gravitacional es mayor entonces el satélite se será atraído por la Tierra. Debe existir un equilibrio entre la aceleración y velocidad del satélite, además de, la distancia entre la Tierra y el satélite.

En el caso de los satélites de comunicaciones, estos están en las órbitas geoestacionarias, las cuales son circulares y en consecuencia los satélites tienen velocidad orbital constante.

En la realidad, los satélites geoestacionarios están expuestos a las fuerzas gravitacionales del Sol y la Luna, los vientos solares y además, la Tierra no es completamente redonda. Por lo que, de forma real, los satélites geoestacionarios describen una trayectoria en forma de ocho en un período de 24 horas. Es decir, no están quietos como idealmente se piensa.

2.2.1.1 Cálculo de la distancia entre el satélite y la superficie terrestre

Aplicando la tercera Ley de Kepler, llamada Ley Armónica, en la órbita del satélite geoestacionario y la órbita de la Luna, se puede establecer que el cubo de las distancias medias entre el período de la órbita es proporcional.

$$\frac{D1^3}{T1^2} = \frac{D2^3}{T2^2}$$

Donde:

- D1 es la distancia media entre el centro de la Tierra y el satélite.
- T1 es el período de la órbita del satélite geoestacionario, es decir, 1 día.
- D2 es la distancia media entre el centro de la Tierra y el centro de la Luna, la cual es aproximadamente 60R, donde R es el radio de la Tierra, aproximadamente 6371 Km.
- T2 es el período de la órbita de la Luna, conocido como mes sideral, el cual, utilizando la “ley del inverso cuadrado” de Newton es 27,32 días.

Al reemplazar los datos se tiene que la distancia aproximada entre el centro de la Tierra y el satélite es de 42,164 Km. Si a esto le se le restan los 6,378 Km (radio de la Tierra) entonces se concluye que los satélites geoestacionarios están a una altura aproximada de 35,768 Km sobre la superficie de la Tierra.

Redondeando la distancia entre el satélite geoestacionario y la superficie de la Tierra será de 35,800 Km o 22,300 millas.

2.2.1.2 Cálculo de la velocidad orbital de un satélite geoestacionario

Se sabe que la velocidad es igual al espacio recorrido entre el tiempo que toma realizar el recorrido.

$$V = \frac{E}{T}$$

Donde:

- E, es el espacio de la órbita recorrida por el satélite, $2\pi(D1)$.
- T, es el tiempo que tarda en dar una vuelta, 24 horas.

Reemplazando los datos se tiene que la velocidad aproximada de un satélite estacionario es de 11,033 Km/hr, aproximando tendremos que la velocidad de un satélite geoestacionario es de 6,840 mph (millas por hora).

2.2.1.3 Tiempo de retardo de los satélites geoestacionarios

- El tiempo de retardo de propagación entre el satélite y la estación terrestre esta dado por la distancia recorrida entre la velocidad de la onda electromagnética. Así se tiene:

$$t = \frac{E}{V_o}$$

Donde,

- E, es el espacio que recorre la onda en ir desde la estación terrena hasta el satélite y volver a la estación terrena. Este espacio es el doble del espacio entre la superficie de la Tierra y el satélite geoestacionario, es decir, $2x(35,768 \text{ Km})$.
- V_o es la velocidad de la onda electromagnética que se propaga, que es igual a la velocidad de la luz: $3x10^5 \text{ Km/s}$.

Reemplazando tenemos que el retraso de la onda electromagnética debido al recorrido desde la estación terrena al satélite y luego volver a la estación terrena es de 238 ms. Si a este retraso le agregamos el retraso de los equipos de telecomunicaciones podemos decir que el retraso de la onda electromagnética es de un cuarto de segundo. Además, si las estaciones terrenas están alejadas existirá un retraso adicional que sufrirán las comunicaciones satelitales.

2.2.2 Órbita de Clarke o cinturón de Clarke

El ingeniero, científico y autor de varios libros de ciencia ficción, Arthur C. Clarke en 1945, en un artículo en el *British Radio Magazine Wireless World Wide*, fue el primero en proponer un conjunto de especificaciones de las órbitas de satélites geoestacionarios, las cuales son:

- Debe estar directamente arriba de la línea ecuatorial.
- Debe viajar en la misma dirección que la rotación de la Tierra, a 6840 mph.
- Debe tener 22,300 millas de altura sobre la Tierra.
- Debe describir una revolución cada 24 horas.

Según Constantino Pérez, José María Zamanillo y Alicia Casanueva, en su libro “Sistemas de Telecomunicación”, se puede tener una comunicación satelital en toda la Tierra (exceptuando los polos) si es que se utilizan 3 satélites a 120° de longitud y que estén en la órbita de Clarke.

Inicialmente, los satélites geoestacionarios debían tener una separación de 1833 millas, es decir, una separación de 4° pero en la actualidad pueden estar más cerca. Como se muestra en la figura.

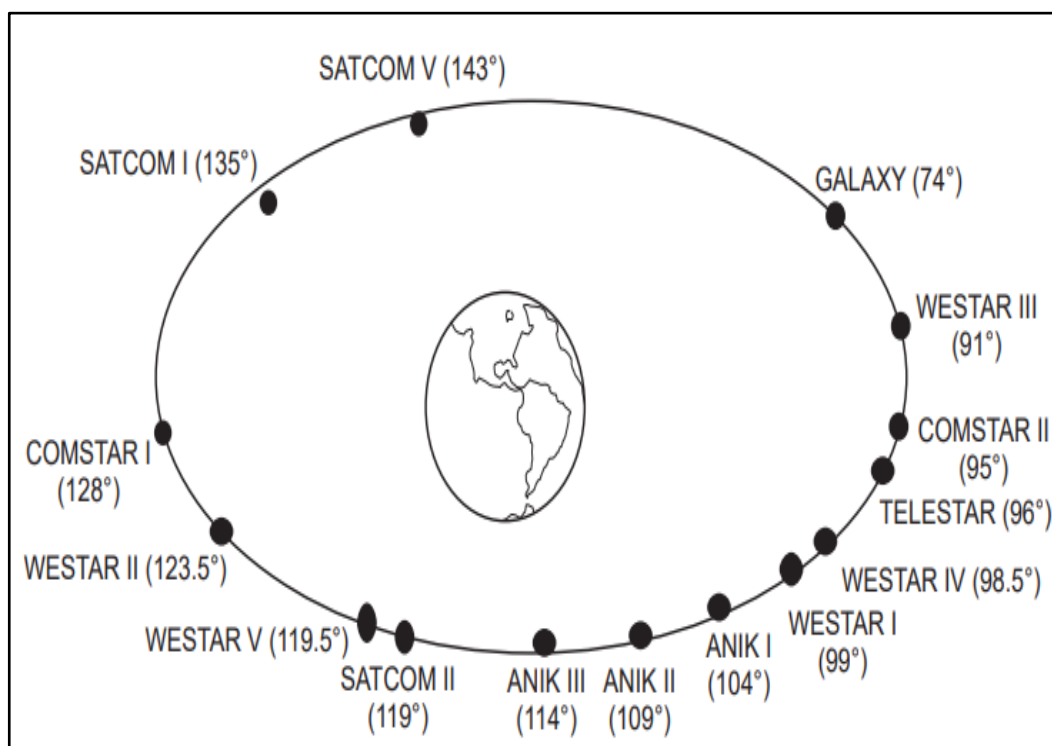


Figura 2.32: Algunos satélites con órbitas geoestacionarias
Fuente: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wyne Tomasi

2.2.3 Bandas de frecuencias satelitales

Ramón Ramírez Luz en su libro “Sistemas de Radiocomunicaciones”, concuerda con que, el espectro electromagnético se divide en bandas de frecuencia, las cuales están limitadas y alineada con la asignación de frecuencia para radio propagación dada por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), de los Estados Unidos de Norte América (EEUU) y con la asignación de nombres y rangos del espectro útil de radiofrecuencia (RF), otorgada por el Comité Consultivo Internacional de Radio (CCIR), tal como se muestra, en la tabla adjunta.

Tabla 2.5: Asignación de frecuencias según CCIR
Fuente: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wyne Tomasi

Número de banda	Intervalo de frecuencias*	Designación
2	30 Hz–300 Hz	ELF (frecuencias extremadamente bajas)
3	0.3 kHz–3 kHz	VF (frecuencias de voz)
4	3 kHz–30 kHz	VLF (frecuencias muy bajas)
5	30 kHz–300 kHz	LF (bajas frecuencias)
6	0.3 MHz–3 MHz	MF (frecuencias intermedias)
7	3 MHz–30 MHz	HF (frecuencias altas)
8	30 MHz–300 MHz	VHF (frecuencias muy altas)
9	300 MHz–3 GHz	UHF (frecuencias ultra altas)
10	3 GHz–30 GHz	SHF (frecuencias super altas)
11	30 GHz–300 GHz	EHF (frecuencias extremadamente altas)
12	0.3 THz–3 THz	Luz infrarroja
13	3 THz–30 THz	Luz infrarroja
14	30 THz–300 THz	Luz infrarroja
15	0.3 PHz–3 PHz	Luz visible
16	3 PHz–30 PHz	Luz ultravioleta
17	30 PHz–300 PHz	Rayos X
18	0.3 EHz–3 EHz	Rayos gamma
19	3 EHz–30 EHz	Rayos cósmicos

* 10^0 , hertz (Hz); 10^3 , kilohertz (kHz); 10^6 , megahertz (MHz); 10^9 gigahertz (GHz); 10^{12} , terahertz (THz); 10^{15} , petahertz (PHz); 10^{18} exahertz (EHz)

Como se aprecia en la tabla, las comunicaciones satelitales están en el rango de 3GHz a 30 GHz, la cual es denominada como *Super High Frequency* (SHF, por sus siglas en inglés). Esta característica está alineada con lo que menciona L.E. Méndez en su tesis "*Link budget for NTNU test satellite*". Además, conceptualiza que, para frecuencias mayores a 3 GHz los efectos de ionósfera no influyen de manera importante. Esta es una de las razones por las cuales las comunicaciones satelitales se ubican en este rango de frecuencias.

En ese mismo sentido, en el documento "*Satellite Communications in the New Space Era: A Survey and Future Challenges*" de la *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, se menciona que el espectro utilizado por los satélites de comunicaciones está en el rango de 1 GHz a 50 GHz, teniendo en consideración que las diferentes bandas de frecuencias son utilizadas según el tipo de servicio o condiciones climáticas. Asimismo, define que las bandas de frecuencia utilizadas por los satélites son:

- Bandas de frecuencias bajas, denominadas con letras L, S, X y C.
- Bandas de frecuencias altas, denominadas con letras Ku, K y Ka.

Además, menciona que las comunicaciones satelitales, en especial las señales de televisión, utilizan generalmente las bandas C y Ku.

La siguiente figura muestra un esquema de las bandas de frecuencia que utilizan las comunicaciones satelitales y sus rangos de frecuencia.

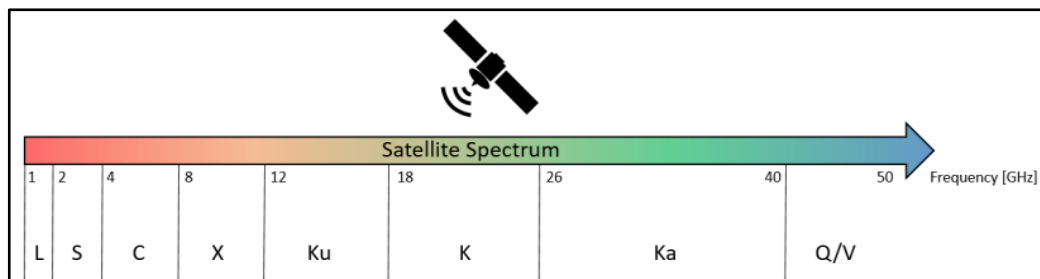


Figura 2.33: Bandas de frecuencias satelitales

Fuente: *Satellite Communications in the New Space Era*. IEEE

Al respecto, se ha elaborado la tabla adjunta Figura 2.33, en la cual, se consolida la información de María José Alonso Cuevas y Mónica Casas Lago en su libro “Televisión Digital Vía Satélite” y Gerard Maral en su libro “*Satellite Communication Systems*”.

Tabla 2.6: Rangos de frecuencias satelitales

Fuente: Elaboración propia

Banda de frecuencia	Rango de frecuencia (MHz) <i>UPLINK</i>	Rango de frecuencia (MHz) <i>DOWNLINK</i>	Servicios o usos
L	1530 - 2700	1530 - 2700	Móvil: marítimo, terrestre y aeronáutico
S	2700 - 3500	2700 - 3500	Móvil / Reservada / Meteorología
C	5925 - 6425	3700 - 4200	Fijo / DBS (<i>Direct Broadcast Satellite</i>)
X	7900 - 8395	7250 - 7745	Militar / Gubernamental
Ku (Europa)	14000 - 14800	10700 - 11700	FSS: <i>Fix Satellite Services</i>
	17300 - 18100	11700 - 12500	DBS: <i>Direct Broadcast Satellite</i>
	14000 - 14800	12500 - 12750	Telecom
Ku (América)	14000 - 14500	11700 - 12200	FSS: <i>Fix Satellite Services</i>
	17300 - 17800	12200 - 12700	DBS: <i>Direct Broadcast Satellite</i>

Ka	27500 - 30000	17700 - 21200	Enlaces entre satélites. Investigación
----	---------------	---------------	--

Prashant Pillai, Yim Fun Hu, Ofiok Otung y Giovanni Giambene en su libro “*Wireless and Satellite Systems*” advierten que, en Europa y África la banda Ku, la cual transporta la señal de televisión satelital, está llegando a su capacidad máxima respecto al espectro de radiofrecuencias, por lo que, se está comenzando a emplear la banda Ka. Como ejemplos, menciona la constelación Eutelsat y la fabricación de los sintonizadores *Low Noise Block* (LNB) duales para las bandas Ka y Ku.

Banda L

Como se muestra en la Tabla 2.6 y alineado a ITU (*International Telecommunication Union*), la Banda L utiliza el mismo espectro de frecuencia para la subida (*Uplink*) y la bajada (*Downlink*) de información, el cual va desde 1.53 GHz hasta 2.7 GHz. El primer operador que utilizó esta banda fue Comsat en su constelación de satélites Marisat.

Las antenas situadas en la Tierra son monopolos pequeños que no necesitan estar apuntando al satélite. Un ejemplo son las antenas que se utilizan los teléfonos móviles.

Shree Krishna Sharma, en su libro “*Satellite Communications in the 5G Era*”, menciona que, en la actualidad el espectro de frecuencia de esta banda está saturado, es decir, los usuarios y los servicios que utilizan esta banda sobrepasan el espectro disponible.

Banda S

Como se muestra en la Tabla 2.6 y alineado a ITU (*International Telecommunication Union*), la Banda S utiliza el mismo espectro de frecuencia para la subida (*Uplink*) y la bajada (*Downlink*) de información y va desde 2.700 GHz hasta 3.500 GHz.

Inicialmente, esta banda era utilizada por las agencias espaciales, pero actualmente es utilizada más por radares meteorológicos y algunos satélites de comunicación. La banda S tiene un nivel bajo de ruido y está localizada en la banda de frecuencias de las microondas y los satélites LEO (*Low Earth Orbital*) y MEO (*Medium Earth Orbital*) son los que más la utilizan. Estos tipos de satélites se describen en el subcapítulo “Satélites según su elevación”.

Banda C

Como se muestra en la Tabla 2.6 y alineado a ITU (*International Telecommunication Union*), la Banda C utiliza espectro de frecuencia de 5.925 GHz a 6.425 GHz para la subida (*Uplink*) y la bajada (*Downlink*) va desde los 3.700 GHz hasta los 4.200 GHz.

Banda X

Como se muestra en la Tabla 2.6 y alineado a ITU (*International Telecommunication Union*), la Banda X utiliza espectro de frecuencia de 7.9 GHz a 8.395 GHz para la subida (*Uplink*) y la bajada (*Downlink*) va desde los 7.250 GHz hasta los 7.745 GHz.

Banda Ku

Como se muestra en la Tabla 2.6 y alineado a ITU (*International Telecommunication Union*), la Banda Ku utiliza diferentes frecuencias de subida y bajada en Europa y América:

Tabla 2.7: Banda Ku para Europa y América
Fuente: Elaboración propia

La banda Ku para Europa	La banda Ku para América
Utilizada para los servicios FSS (<i>Fix Satellite Services</i>) y Telecom, el espectro de frecuencia de 14 GHz a 14.8 GHz para la subida (<i>Uplink</i>) y la bajada (<i>Downlink</i>) del servicio FSS utiliza el rango de frecuencia desde los 10.7 GHz hasta los 11.7 GHz y para el servicio de Telecom el rango de frecuencia de bajada desde los 12.5 GHz hasta 12.75 GHz. Además, el servicio de televisión DBS (<i>Direct Broadcast Satellite</i>) utiliza el rango para la subida (<i>Uplink</i>) desde 11.7 GHz hasta 12.5 GHz y la bajada (<i>Downlink</i>) desde 17.3 hasta 18.1 GHz.	Utilizada para los servicios FSS (<i>Fix Satellite Services</i>), para la subida (<i>Uplink</i>) utiliza el rango de frecuencia desde los 14 GHz hasta los 14.5 GHz y para la bajada (<i>Downlink</i>) utiliza el rango de frecuencia desde los 11.7 GHz hasta los 12.2 GHz y para el servicio de DBS (<i>Direct Broadcast Satellite</i>) utiliza el rango de frecuencia para la subida (<i>Uplink</i>) desde los 17.3 GHz hasta los 17.8 GHz y la bajada (<i>Downlink</i>) desde los 12.2 hasta los 12.7 GHz.

La banda Ku es susceptible a la atenuación por lluvia, por lo que, en este caso es necesario aumentar la potencia en los satélites y en las estaciones terrenas.

Como ejemplo de uso de esta banda, se puede citar a la constelación de satélites VSAT.

Banda Ka

Como se muestra en la Tabla 2.6 y alineado a ITU (*International Telecommunication Union*), la Banda Ka utiliza el rango de frecuencia para la subida (*Uplink*) desde los 27.5 GHz hasta 30.0 GHz y la bajada (*Downlink*) desde 17.7 hasta 21.2 GHz.

Constantino Pérez Vega en su libro “Sistemas de Telecomunicación”, menciona que, en esta banda encontramos los servicios que, por diversas razones no pueden situarse en las frecuencias inferiores. Se tiene disponible hasta 2 GHz para la subida y bajada, pero existe gran atenuación por la lluvia, lo cual, se mejora con el aumento de potencia de transmisión o mejorando la sensibilidad del receptor o aumentando el diámetro de antena.

2.2.4 Cabecera satelital

La cabecera satelital es el sistema que está constituido por la recepción de las señales satelital (*downlink*), procesamiento de las señales, multiplexación de las señales y transmisión de las señales para su difusión y explotación. En la siguiente figura se mostrará el equipamiento necesario para una cabecera satelital.

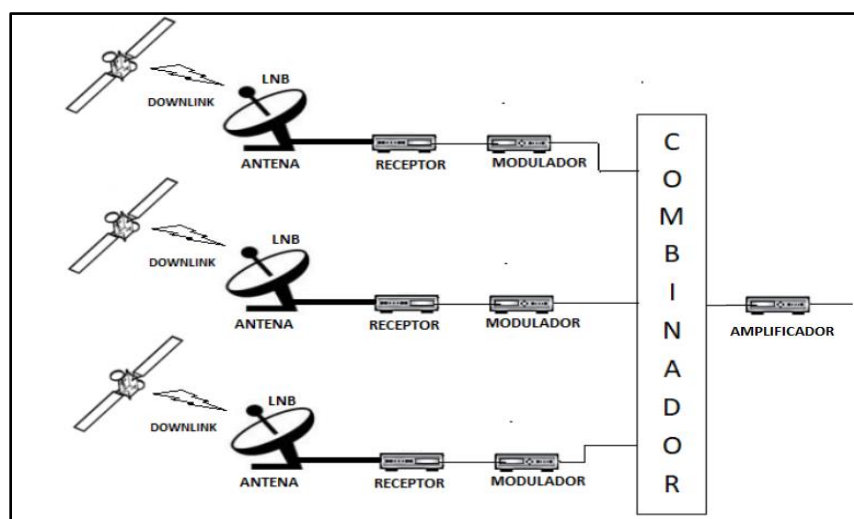


Figura 2.34: Diagrama de una cabecera satelital de televisión
Fuente: Elaboración propia

2.2.5 Definiciones de los equipos de telecomunicaciones satelitales

En este subcapítulo se describen los equipos más importantes que se utilizan en el desarrollo del trabajo.

Antenas parabólicas

El *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* define a las antenas como aquella parte del sistema de transmisión o recepción diseñada para radiar o recibir ondas electromagnéticas.

Gerard Maral en su libro “*Satellite Communications Systems*” mencionan que la antena es el dispositivo que convierte a la OEM guiada procedente de la línea de transmisión en una onda radiada.

Las antenas comparten la función de interfaz entre una zona donde existe una onda electromagnética guiada y una zona donde existe una onda en el espacio libre, a la que se le puede asignar una direccionalidad hacia un receptor en el espacio libre. Es decir, la línea de transmisión acopla la energía del transmisor con una antena de transmisión y la antena acopla la energía al espacio libre. En el caso de la recepción la antena acopla la energía de la onda que viene del espacio libre (emitida por un transmisor) y acopla la energía con un receptor. Como se muestra en la siguiente figura:

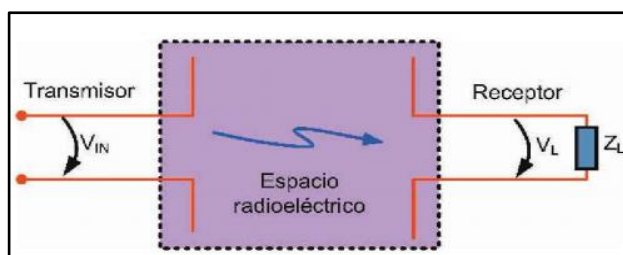


Figura 2.35: Antena de transmisión y recepción
Fuente: Elementos de Sistemas de Telecomunicaciones, Sergio Gallardo

Otra representación de la antena de Tx y Rx es la siguiente figura:

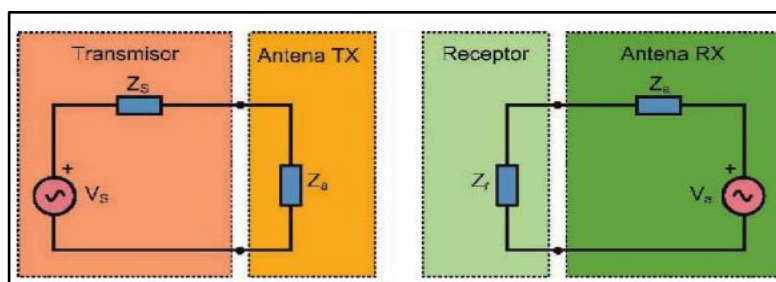


Figura 2.36: Circuito equivalente a una antena de TX y RX
Fuente: Elementos de Sistemas de Telecomunicaciones, Sergio Gallardo

Wyne Tomasi en su libro “Sistemas de Comunicaciones Electrónicas” menciona que, en Estados Unidos, clasifican a los radiotransmisores según la señal que emiten, para esto utilizan tres parámetros:

- Primer parámetro: Ancho de banda o modulación de la portadora principal y se identifica con una letra.
- Segundo parámetro: Esquema de modulación o tipo de emisión y se identifica con un número.
- Tercer parámetro: Tipo de información y se muestra con una letra.

Los parámetros empleados para clasificar los radiotransmisores, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.8: Clasificación FCC de radiotransmisores según su emisión
Fuente: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wyne Tomasi

Símbolo	Letra	Tipo de modulación	
Primero	No modulado		
	N	Portadora no modulada	
	Modulación de amplitud	A	Doble banda lateral, portadora de máxima potencia (DSBFC)
		B	Banda lateral independiente, portadora de máxima potencia (ISBFC)
		C	Banda lateral residual, portadora de máxima potencia (VSB)
		H	Banda lateral única, portadora de máxima potencia (SSBFC)
		J	Banda lateral única, portadora suprimida (SSBSC)
		R	Banda lateral única, portadora reducida (SSBRC)
	Modulación de ángulo	F	Modulación de frecuencia (FM directa)
		G	Modulación de fase (FM indirecta)
		D	AM y FM simultáneas o secuenciadas
	Modulación de pulso	K	Modulación de amplitud de pulso (PAM)
		L	Modulación de ancho de pulso (PWM)
		M	Modulación de posición de pulso (PPM)
		P	Pulsos no modulados (datos binarios)
		Q	Ángulo modulado durante pulsos
		V	Cualquier combinación de categorías de modulación de pulso
		W	Cualquier combinación de dos o más de las formas anteriores de modulación
		X	Casos no descritos
	Segundo	0	Sin señal moduladora
1		Portadora manipulada digitalmente	
2		Tono manipulado digitalmente	
3		Analógica (sonido o video)	
7		Dos o más canales digitales	
8		Dos o más canales analógicos	
Tercero	9	Analógica o digital	
	A	Telegrafía manual	
	B	Telegrafía automática (teletipo)	
	C	Facsimil	
	D	Datos, telemetría	
	E	Telefonía (emisión de sonido)	
	F	Televisión (emisión de video)	
	N	Sin información transmitida	
W	Toda combinación de segundas letras		

Low Noise Block

El *Low Noise Block* (LNB), es un dispositivo que se encarga de amplificar a bajo ruido y sirve para desplazar la señal en frecuencia o adaptar la señal recibida del satélite y distribuirla mediante un cable coaxial. Puesto que, la señal descendente del satélite (*downlink*) tiene una frecuencia muy alta para poder ser transmitida por el cable coaxial. Este dispositivo se instala en el foco de la antena parabólica.

La polarización del LNB se define como el ángulo de que describe al girar sobre su propio ángulo. El giro generalmente es en el sentido horario, es decir, en mismo sentido de las agujas del reloj.

Los modelos más utilizados son los de banda C, Ku y Ka. La banda que se utilizar para transmitir la señal por el cable coaxial es la Banda L, que va entre los 1530 GHz hasta 2700 GHz.



Figura 2.37: Recepción de la señal *Low Noise Block*
Fuente: Elaboración propia

Los tipos de LNB más utilizados son:

Tabla 2.9: Tipos de LNB
Fuente: Elaboración propia

LNB Single	LNB Twin	LNB Quad	LNB Octo
Tiene una salida conmutable en polarización horizontal o vertical y baja o alta frecuencia. Generalmente se utiliza en instalaciones individuales, es decir, en un único receptor.	Tiene dos salidas conmutables en polarización horizontal o vertical y baja o alta frecuencia. Se puede usar para dos usuarios o para recibir la señal de 2 satélites muy cercanos.	Tiene cuatro salidas en polarización horizontal o vertical y baja o alta frecuencia.	Tiene ocho salidas en polarización horizontal o vertical y baja o alta frecuencia.

Splitter

Es un dispositivo pasivo que tiene por finalidad distribuir o dividir la señal de entrada en dos o más salidas en paralelo para que esta, se explote por más de un receptor al mismo tiempo.



Figura 2.38: Splitter
Fuente: www.cisco.com

Por el nivel de potencia que entregan, el Splitter puede ser:

Tabla 2.10: Tipos de Splitter según la potencia que entregan

Fuente: Elaboración propia

Splitter simétrico	Splitter asimétrico
Dispositivo pasivo que distribuye la señal al mismo nivel de potencia en cada una de sus salidas.	Dispositivo pasivo que distribuye la señal a diferentes niveles de potencia en cada una de sus salidas.

El Splitter generalmente trabaja a frecuencias entre 5 MHz y 1 GHz y su atenuación depende de la cantidad de puertos de salida.

Receptor Satelital

Son dispositivos que reciben la señal del LNB (*Low Noise Block*), y recuperan la señal emitida originalmente, ya sea video, voz o datos. Los receptores se diferencian por su tecnología que les permite decodificar, demodular, corregir errores, sincronizar la frecuencia de emisión. Esto se logra porque las señales digitales vienen en estándares como DVB-S, DVB-S1 o DVB-S2, entre otras.

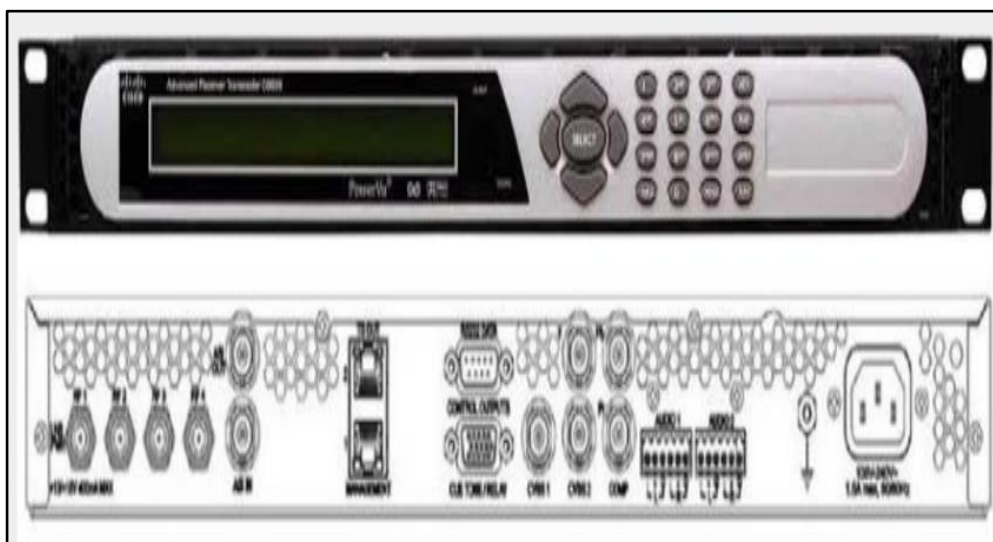


Figura 2.39: Receptor satelital

Fuente: www.cisco.com

Los receptores pueden recibir las señales de las siguientes formas:

Tabla 2.11: Multiplexación en receptores

Fuente: Elaboración propia

MCPC , <i>Multiple Channel per Carrier</i>	SCPC , <i>Simple Channel per Carrier</i>
El receptor puede recibir varios canales al mismo tiempo en una misma frecuencia y desde un mismo transponder. Utiliza la multiplexación TDM (<i>Time División Multiplexing</i>).	El receptor puede recibir un solo canal, el cual tiene el ancho de banda dedicado.

Lo más utilizado es MCPC porque los proveedores envían paquetes de diferentes canales de diferentes proveedores.

Modulador/demodulador

Es el dispositivo que modula la señal a una frecuencia específica, la cual corresponde a un canal de televisión determinado. Esto servirá para transmitir varias señales al mismo tiempo por el mismo medio (guiado o no guiado). A esto se le conoce con el nombre de multiplexación en frecuencia.

Las señales, se modulan cuando es necesario multiplexar las señales en canales o bandas de frecuencia, invertir menos potencia en la transmisión de la señal o hacer uso de antenas de tamaño razonable. En la siguiente figura se muestra un modulador QPSK.

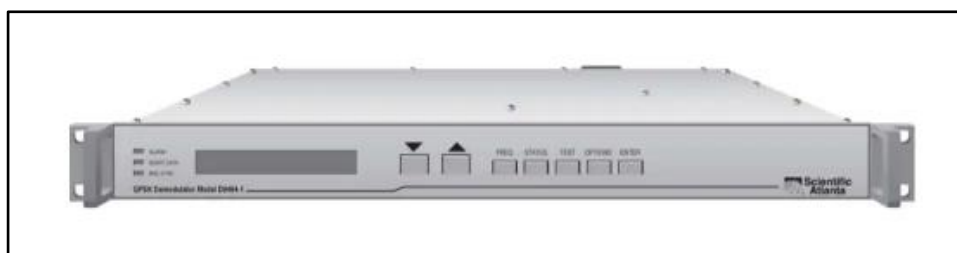


Figura 2.40: Modulador

Fuente: www.cisco.com

Generalmente, los modulares con señales de TV utilizan la modulación QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) en sus variantes 8-QAM, 16-QAM o QPSK, (*Quadrature Phase Shift Keying*).

Combinador

Es el dispositivo que multiplexa o combina las señales para que se transmitan por un mismo canal (guiado o no guiado). En el caso de nuestro trabajo, estas señales se pueden sintonizar en los televisores. En la siguiente figura muestra un combinador pasivo de 12 canales de entrada y una salida.



Figura 2.41: Combinador de 12 puertos
Fuente: Pico Macom

3 CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En el desarrollo del presente trabajo de investigación, se toman en cuenta los satélites geoestacionarios en Banda C y Ku que contengan señales que se puedan recibir en la ciudad de Lima y transmiten señales de televisión abierta de otros países. Además, se incluirá una propuesta de gestión para la implementación del diseño, siguiendo la metodología del *Project Management Institute* (PMI).

3.1 Diseño de la cabecera de televisión satelital

El diseño de la cabecera de televisión satelital consiste en determinar los satélites geoestacionarios que en banda C y Ku, disponibles para la ciudad de Lima, desde los cuales se recibirán señales de televisión abierta de otros países. Luego, se determina las señales de televisión abierta que contienen información de interés para la Institución. Finalmente, se determinan los equipos necesarios para recibir, procesar y transmitir las señales de televisión abierta en la cabecera satelital.

3.1.1 Determinación de los satélites geoestacionarios que emiten señal de televisión abierta

Para determinar los satélites que emplearemos en el diseño definimos los siguientes criterios de selección, mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 3.1: Criterios para determinar los satélites a utilizar en el diseño
Fuente: Elaboración propia

Criterio	Descripción
Tipo de satélite	Geoestacionario
Tipo de banda	C y Ku
Disponibilidad del servicio	En la ciudad de Lima
País de origen	Bolivia, Brasil, Chile, Colombia y Ecuador

Respecto a las características de los satélites, se tienen diferentes fuentes, las cuales brindan información de una constelación determinada o consolidan las características de las mismas. Estas fuentes pueden ser los mismos proveedores de servicios satelitales, tales como: Hispasat y Eutelsat o empresas que consolidan la información de los diferentes proveedores de servicios satélites, tales como: Dishpointer, Lyngsat y Portal EDS.

En la tabla adjunta se detallan los enlaces de las fuentes consultadas para el desarrollo del trabajo:

Tabla 3.2: Información disponible sobre satélites
Fuente: Elaboración propia

Descripción	Link o URL
Eutelsat es un operador europeo, su flota comprende 39 satélites con cobertura en Europa, África, Medio Oriente, gran parte de Asia y América	https://www.eutelsat.com/
Hispasat es el operador español de satélites de comunicaciones.	https://www.hispasat.com/
Dishpointer es una empresa inglesa que brinda información de satélites.	http://www.dishpointer.com
El portal Lyngsat pertenece a la compañía Lyngemark Satellite, el portal integra información de satélites a nivel mundial.	http://www.lyngsat.com
Portal EDS es un integrador de información de satélites.	http://www.portaleds.com

Teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas anteriormente, se elaboró una tabla de los satélites geoestacionarios, en Banda C y Ku, con servicio de televisión empleados por los países limítrofes y que están disponibles en la ciudad de Lima. Como parámetros técnicos para ubicar los satélites geoestacionarios, se adjunta su posición, azimut y elevación de cada uno, información que se obtuvo de la página web www.lyngsat.com de la empresa Lyngemark Satellite.

Para el caso de Bolivia:

Tabla 3.3: Satélites disponibles con señales de Bolivia
Fuente: Elaboración propia

Bolivia	Posición	Azimut	Elevación
Galaxy 28	89.0°W	314.61°	70.15°
Intelsat 34	55.5°W	62.14°	61.28°
Intelsat 21	58.0°W	58.84°	63.74°
TKSat 1	87.2°W	319.39°	71.55°

Para el caso de Brasil:

Tabla 3.4: Satélites disponibles con señales de Brasil
Fuente: Elaboración propia

Brasil	Posición	Azimut	Elevación
Amazonas 3	61.0°W	54.03°	66.58°
Eutelsat 65 West A	65.0°W	45.64°	70.07°
Hispasat 30W-5	30.0°W	79.00°	34.64°
Intelsat 11	43.1°W	72.77°	48.46°
Intelsat 11 & Sky Brasil 1	43.1°W	72.77°	48.46°
Intelsat 14	45.0°W	71.56°	50.46°
Intelsat 21	58.0°W	58.84°	63.74°
Intelsat 34	55.5°W	62.14°	61.28°
Intelsat 901	27.5°W	79.91°	32.01°
SES 4	22.0°W	81.70°	26.28°
SES 6	40.5°W	74.27°	45.72°
SES 10	67.0°W	40.33°	71.62°
SES 14	47.5°W	69.78°	53.08°
Star One C1	65.0°W	45.64°	70.07°
Star One C2	70.0°W	30.64°	73.62°

Star One C3	75.0°W	9.73°	75.63°
Star One D1	84.0°W	329.72°	73.68°
Telstar 14R	63.0°W	50.16°	68.37°

Para el caso de Chile:

Tabla 3.5: Satélites disponibles con señales de Chile
Fuente: Elaboración propia

Chile	Posición	Azimut	Elevación
Amazonas 2	61.0°W	54.03°	66.58°
Amazonas 5	61.0°W	54.03°	66.58°
Hispasat 74W-1	73.9°W	14.77°	75.36°
Intelsat 21	58.0°W	58.84°	63.74°
Telstar 14R	63.0°W	50.16°	68.37°

Para el caso de Colombia:

Tabla 3.6: Satélites disponibles con señales de Colombia
Fuente: Elaboración propia

Colombia	Posición	Azimut	Elevación
Intelsat 34	55.5°W	62.14°	61.28°
SES 3	103.0°W	293.22°	56.82°
SES 6	40.5°W	74.27°	45.72°

Para el caso de Ecuador:

Tabla 3.7: Satélites disponibles con señales de Ecuador
Fuente: Elaboración propia

Ecuador	Posición	Azimut	Elevación
Amazonas 3	61.0°W	54.03°	66.58°
Eutelsat 117 West A	116.8°W	284.09°	42.34°
Intelsat 35e	34.5°W	77.19°	39.38°
Intelsat 34	55.5°W	62.14°	61.28°
SES 10	67.0°W	40.33°	71.62°

Consolidando las tablas, se determina que existen 26 satélites geostacionarios disponibles que, cumplen las condiciones que se han seleccionado. Estos satélites y los países donde tienen servicio se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.8: Consolidado de los satélites disponibles
Fuente: Elaboración propia

Satélite	Posición	Azimut	Elevación	País con servicio del satélite
Amazonas 2	61.0°W	54.03°	66.58°	Chile
Amazonas 3	61.0°W	54.03°	66.58°	Brasil y Ecuador
Amazonas 5	61.0°W	54.03°	66.58°	Chile
Eutelsat 65 West A	65.0°W	45.64°	70.07°	Brasil
Eutelsat 117 West A	116.8°W	284.09°	42.34°	Ecuador
Galaxy 28	89.0°W	314.61°	70.15°	Bolivia
Hispasat 30W-5	30.0°W	79.00°	34.64°	Brasil
Hispasat 74W-1	73.9°W	14.77°	75.36°	Chile
Intelsat 11	43.1°W	72.77°	48.46°	Brasil
Intelsat 14	45.0°W	71.56°	50.46°	Brasil
Intelsat 21	58.0°W	58.84°	63.74°	Brasil, Bolivia y Chile
Intelsat 34	55.5°W	62.14°	61.28°	Brasil, Bolivia, Chile y Ecuador
Intelsat 35e	34.5°W	77.19°	39.38°	Ecuador
Intelsat 901	27.5°W	79.91°	32.01°	Brasil
Intelsat 11 & Sky Brasil 1	43.1°W	72.77°	48.46°	Brasil
SES 3	103.0°W	293.22°	56.82°	Colombia
SES 4	22.0°W	81.70°	26.28°	Brasil
SES 6	40.5°W	74.27°	45.72°	Brasil y Colombia
SES 10	67.0°W	40.33°	71.62°	Brasil y Ecuador
SES 14	47.5°W	69.78°	53.08°	Brasil
Star One C1	65.0°W	45.64°	70.07°	Brasil
Star One C2	70.0°W	30.64°	73.62°	Brasil
Star One C3	75.0°W	9.73°	75.63°	Brasil

Star One D1	84.0°W	329.72°	73.68°	Brasil
Telstar 14R	63.0°W	50.16°	68.37°	Brasil y Chile
TKSat 1	87.2°W	319.39°	71.55°	Bolivia

Realizando un análisis de la información elaborada en la tabla anterior se seleccionaron los satélites que más se repiten en los países elegidos. Estos son los siguientes:

Tabla 3.9: Satélites que tiene señal en los países elegidos
Fuente: Elaboración propia

Satélite	Posición	Azimut	Elevación	Países
Amazonas 2, 3 y 5	61.0°W	54.03°	66.58°	Chile, Brasil, Ecuador
Intelsat 21	58.0°W	58.84°	63.74°	Chile, Bolivia, Brasil
Intelsat 34	55.5°W	62.14°	61.28°	Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador

3.1.2 Determinación de canales de televisión abierta emitidos por los satélites geostacionarios seleccionados




En el análisis anterior se determinaron los satélites geostacionarios en banda C y Ku que, están disponibles en la ciudad de Lima y tienen señales de televisión de la mayoría de los países limítrofes. Estos satélites son: Amazonas 2, 3 y 5, Intelsat 21 e Intelsat 34.

Considerando estos satélites se realiza un análisis de las señales de televisión abierta para determinar cuáles se recibirán y explotarán, según las necesidades de la Institución.

En las siguientes tablas se muestran las señales de televisión abierta, transmitidas de cada país.








Las señales de televisión abierta de Bolivia son:

Tabla 3.10: Señales de televisión abierta de Bolivia
Fuente: Elaboración propia

Logo	Canal	Posición	Satélite	Beam	Frequency Beam EIRP (dBW)	Estándar	Formato
	Bolivia TV	55.5°W	Intelsat 34	Americas & Europe	38.3-40.3	DVB-S2	HD
	Bolivia TV 7.2 Deportes	55.5°W	Intelsat 34	Americas & Europe	38.3-40.3	DVB-S2	HD
	Red AD Venir Internacional	58.0°W	Intelsat 21	West hemi	41.3-43.3	DVB-S	SD

Las señales de televisión abierta de Brasil son:

Tabla 3.11: Señales de televisión abierta de Brasil
Fuente: Elaboración propia






Logo	Canal	Posición	Satélite	Beam	Frequency Beam EIRP (dBW)	Estándar	Formato
	Assembleia Legislativa TV	61.0°W	Amazonas 3	America	42-43	DVB-S2	SD
	DCom Sat 1	61.0°W	Amazonas 3	Brazil	40-42	DVB-S2	SD
	Record TV Américas	58.0°W	Intelsat 21	West hemi	41.3-43.3	DVB-S2	HD
	Igreja Cristã Maranata	55.5°W	Intelsat 34	Americas & Europe	38.3-40.3	DVB-S2	HD
	Jóias VIP	55.5°W	Intelsat 34	Americas & Europe	38.3-40.3	DVB-S2	SD
	Rede Meio Norte	55.5°W	Intelsat 34	Americas & Europe	38.3-40.3	DVB-S2	HD
	Rede VTV	61.0°W	Amazonas 3	America	42-43	DVB-S2	HD

	SBT Rio Grande	61.0°W	Amazonas 3	America	42-43	DVB-S2	1se
	TV ALESP	61.0°W	Amazonas 3	America	42-43	DVB-S2	SD
	TV Capixaba	61.0°W	Amazonas 3	America	42-43	DVB-S	SD
	TV Pai Eterno	55.5°W	Intelsat 34	Americas & Europe	38.3-40.3	DVB-S2	HD
	TV Pajuçara	55.5°W	Intelsat 34	Americas & Europe	38.3-40.3	DVB-S2	HD
	TV Ponta Negra	58.0°W	Intelsat 21	Brazil	43.8	DVB-S2	SD

Las señales de televisión abierta de Chile disponibles son:

Tabla 3.12: Señales de televisión abierta de Chile





Fuente: Elaboración propia

Logo	Canal	Posición	Satélite	Beam	Frequency Beam EIRP (dBW)	Estándar	Formato
	CDTV	61.0°W	Amazonas 5	Latin America		DVB-S2	HD
	FX Chile	58.0°W	Intelsat 21	West hemi	41.3-43.3	DVB-S2	HD
	La Red	61.0°W	Amazonas 5	Latin America		DVB-S2	SD
	Telecanal	61.0°W	Amazonas 5	Latin America		DVB-S2	HD
	TV Chile	58.0°W	Intelsat 21	West hemi	41.3-43.3	DVB-S2	SD

	TV Senado	61.0°W	Amazonas 5	Latin America		DVB-S2	HD
	TV+	61.0°W	Amazonas 2	South America	48	DVB-S	SD
	TVN	61.0°W	Amazonas 5	Latin America		DVB-S2	HD


Las señales de televisión abierta de Colombia disponibles son:


Tabla 3.13: Señales de televisión abierta de Colombia
Fuente: Elaboración propia

Logo	Canal	Posición	Satélite	Beam	Frequency Beam EIRP (dBW)	Estándar	Formato
	Edupol 1	55.5°W	Intelsat 34	Americas & Europe	38.3-40.3	DVB-S2	SD
	Edupol 2	55.5°W	Intelsat 34	Americas & Europe	38.3-40.3	DVB-S2	SD
	Edupol 3	55.5°W	Intelsat 34	Americas & Europe	38.3-40.3	DVB-S2	SD
	Edupol 4	55.5°W	Intelsat 34	Americas & Europe	38.3-40.3	DVB-S2	SD

Las señales de televisión abierta de Ecuador disponibles son:









Tabla 3.14: Señales de televisión abierta de Ecuador
Fuente: Elaboración propia


Logo	Canal	Posición	Satélite	Beam	Frequency Beam EIRP (dBW)	Estándar	Formato
	Televisión	55.5°W	Intelsat 34	Americas & Europe	38.3-40.3	DVB-S2	HD

	TV Legislativa	61.0°W	Amazonas 3	America	42-43	DVB-S2	HD
---	----------------	--------	------------	---------	-------	--------	----

De las tablas elaboradas vemos que en los tres satélites geoestacionarios: Amazonas 2, 3 y 5, Intelsat 21 e Intelsat 34, tenemos 30 señales de televisión abierta de los países limítrofes. Teniendo en consideración las necesidades de la Institución determinamos los canales que se van a explotar, los cuales son:

Tabla 3.15: Señales de televisión abierta para explotar
Fuente: Elaboración propia

Logo	Canal	Posición	Satélite	Frecuencia	Estándar	Banda	Frequency Beam EIRP (dBW)
	Bolivia TV	55.5°W	Intelsat 34	3759 H	DVB-S	C	38.3-40.3
	Asamblea Legislativa TV	61.0°W	Amazonas 3	3960 H	DVB-S2 8PSK	C	42-43
	Record TV Américas	58.0°W	Intelsat 21	4156 V	DVB-S2 8PSK	C	41.3-43.3
	TV Chile	58.0°W	Intelsat 21	3975 H	DVB-S2 8PSK	C	41.3-43.3
	TV Senado	61.0°W	Amazonas 5	12270 V	DVB-S2	Ku	42-43
	TV+	61.0°W	Amazonas 2	10848 H	DVB-S2 8PSK	Ku	48
	TVN	61.0°W	Amazonas 5	12270 V	DVB-S2 8PSK	Ku	42-43
	Televisión Centro	55.5°W	Intelsat 34	3759 H	DVB-S2	Ku	38.3-40.3

	TV Legislativa	61.0°W	Amazonas 3	3997 H	DVB-S2 8PSK	C	42-43
---	-------------------	--------	---------------	--------	----------------	---	-------

Podemos apreciar que, de las 30 señales de televisión abierta que se pueden recepcionar en la ciudad de Lima, 9 son las que satisfacen las necesidades de la Institución.

3.1.3 Determinación de los equipos de telecomunicaciones para la cabecera satelital

En este subcapítulo, se determinan las especificaciones técnicas de los equipos que se utilizarán en el diseño de la Cabecera Satelital y que permitirán recepcionar, procesar y transmitir las señales de televisión abierta de los satélites geoestacionarios en banda C y Ku determinados los subcapítulos anteriores.

Para realizar la recepción, procesamiento y transmisión de las señales de televisión se utilizará el siguiente esquema de diseño.

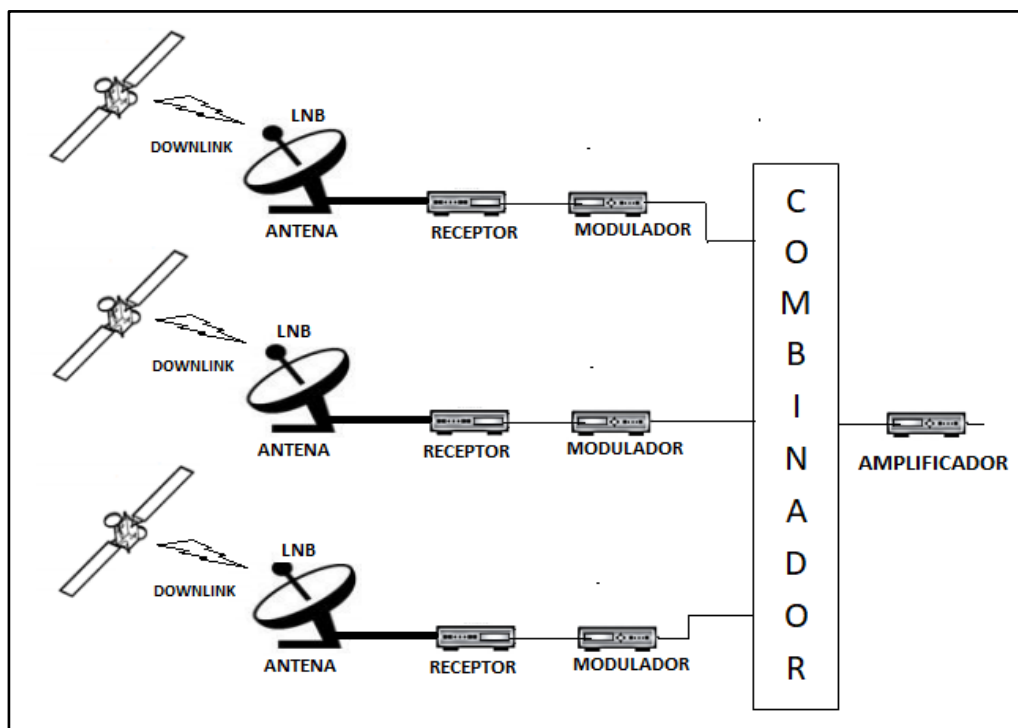


Figura 3.1: Esquema de diseño de la cabecera satelital
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se resumen las consideraciones que se han utilizado en los subcapítulos anteriores y que son las bases para las especificaciones técnicas del equipamiento requerido.

Tabla 3.16: Consideraciones para determinar los equipos
Fuente: Elaboración propia

Consideración	Descripción
Satélite a monitorear y su banda de trabajo	Amazonas 2, 3 y 5 Intelsat 21 Intelsat 34
Banda de trabajo del satélite en América del Sur	Amazonas 2, 3 y 5: C y Ku Intelsat 21: C y Ku Intelsat 34: C y Ku
EIRP (dB), Effective Isotropic Radiated Power	Amazonas 2: C: 34 y Ku: 42 Amazonas 3: C: 37 y Ku: 41 Amazonas 5: Ku: 35 Intelsat 21: C: 39 y Ku: 40 Intelsat 34: C: 37
Lugar de operación	Ciudad de Lima

A continuación, se especifican técnicamente cada uno de los equipos a emplearse en una futura implementación de este diseño.

Antena

Se recomienda emplear tres antenas parabólicas para la recepción de las señales de cada uno de los satélites geoestacionarios en banda C y Ku determinados en los subcapítulos anteriores.

Tabla 3.17: Asignación de antenas por satélite geoestacionario
Fuente: Elaboración propia

Antena	Satélite geoestacionario	Banda: EIRP (dBW)
Antena 1	Amazonas 2	C: 32 y Ku: 42
	Amazonas 3	C: 37 y Ku: 41
	Amazonas 5	Ku: 35
Antena 2	Intelsat 21	C: 33 y Ku: 40
Antena 3	Intelsat 34	C: 32

Se utilizará un mismo tipo de antena debido a que las tres antenas van a recibir señales de satélites que trabajan en banda C y Ku.

En el mercado existen diferentes marcas y modelos de antenas parabólicas, pero según la banda y la potencia radiada isotrópica efectiva (EIRP) se pueden seleccionar: para banda C, antenas parabólicas de diámetro entre 2m y 7 m y para la banda Ku, antenas parabólicas de diámetro entre 1m y 2m.

Debido a que las antenas recibirán señales de banda C y Ku al mismo tiempo se selecciona la antena parabólica de mayor dimensión.

Para definir el diámetro de la antena se utilizará las tablas adjuntas de EIRP vs diámetro de antena según la banda de frecuencia (C o Ku).

Para Banda C

Tabla 3.18: EIRP vs diámetro de antena para banda C
Fuente: www.lyngsat.com

EIRP (dBW)	37	36	35	34	33	32	31
diámetro (m)	1.45-1.8	1.6-2	1.8-2.25	2-2.55	2.25-2.85	2.55-3.2	2.85-3.6

En Banda Ku

Tabla 3.19: EIRP vs diámetro de antena para banda Ku
Fuente: www.lyngsat.com

EIRP (dBW)	43	42	41	40	39	38
diámetro (m)	1.05-1.35	1.2-1.5	1.35-1.7	1.5-1.9	1.7-2.15	1.9-2.4

De acuerdo al cuadro mostrado, la antena debe tener un diámetro mayor a 3.2 m. Por lo que, se recomienda una antena comercial de 3.8 m.

Existen diversos fabricantes que cumplen con estas especificaciones como, la antena marca Prodelin serie 1385. Las especificaciones técnicas de dicha antena se muestran en el Anexo 1.

Low Noise Block (LNB)

Debido a que los satélites seleccionados tienen señales en las bandas C y Ku se recomienda emplear un LNB (*Low Noise Block*) para cada banda (C y Ku), en cada uno de los satélites.

En el caso de la banda C, los LNB son de una salida y en el caso de la banda Ku, se puede tener más de salida y considerando el costo y que se tienen 3 señales de televisión abierta en los satélites determinados, se recomienda un LNB de 4 salidas para cada antena.

Por lo cual, se requiere utilizar 3 LNB en banda C con una salida y 3 LNB en banda Ku con 4 salidas.

Existen diversos fabricantes que cumplen con estas especificaciones:

- Para la banda C se recomienda la marca Eight modelo LNB C EX 17K.
- Para la banda Ku se recomienda la marca AbiTech modelo GKF-2134.

Las especificaciones técnicas de los LNB recomendados se muestran en el Anexo 2.

Splitter

Cada LNB de la banda C se necesita un splitter simétrico para dividir la señal equitativamente y en caso de la banda Ku no es necesario porque, cada LNB tiene 4 salidas.

Por lo cual, se necesita utilizar 3 splitters simétricos de 4 salidas.

Existen diversos fabricantes que cumplen con estas especificaciones, como por ejemplo la marca AibiTech modelo SATV CATV04.

Las especificaciones técnicas de los splitters recomendados se muestran en el Anexo 3.

Receptor satelital

Para cada señal de salida de los splitters se debe colocar un receptor satelital. En nuestro caso y según el diseño son 9 señales de televisión abierta las que se recibirán, además se considera un receptor adicional por cada banda C y Ku, de cada antena. Esto servirá para realizar el monitoreo de estas bandas y también tendrán la función de back up, es decir, 6 receptores adicionales. Por lo cual, se necesita utilizar 15 receptores.

Existen diversos fabricantes que cumplen con estas especificaciones como, por ejemplo, la marca Pico Macom modelo PR4200IRD.

Las especificaciones técnicas de los receptores satelitales recomendados se muestran en el Anexo 4.

Modulador

Debido a que, se tendrán señales de televisión abierta en producción (9) y para testeo (6), en las bandas C y Ku de los satélites geoestacionarios, se requieren, para las señales de producción, 9 moduladores en las frecuencias de los canales del 11 al 19 y para las señales de testeo 6 moduladores en las frecuencias de los canales del 51 al 56. Por lo cual, se necesita utilizar 15 modulares.

Existen diversos fabricantes que cumplen con estas especificaciones como, por ejemplo, la marca Pico Macom modelo PCM55SAW, que es compatible con la selección de canales recomendados (canales 11 al 19 y del 51 al 56).

Las especificaciones técnicas de los moduladores recomendados se muestran en el Anexo 5.

Combinador

Las 15 señales de televisión abierta, ya moduladas en las frecuencias (canales) correspondientes, se multiplexarán para utilizar un solo medio guiado (coaxial), para que a institución tenga la capacidad de explotar la información.

Los combinadores comerciales vienen en modelos de 12, 24 y 48 puertos, como nuestro requerimiento es de 15 puertos se recomienda utilizar un combinador comercial de 24 puertos, como el de la marca Pico Macom, modelo PHC24G, sus especificaciones técnicas se muestran en el Anexo 6.

Amplificador

En el diseño propuesto es necesario incluir un amplificador. Debido a que, se usarán 15 modulares que trabajan entre las frecuencias de 60 Mhz a 500Mhz, la potencia de salida de la señal ha disminuido por la pérdida de su propagación en los cables y la cabecera satelital está situada en un ambiente alejado del área respecto al lugar donde se explotarán las señales de televisión

Este modulador debe cumplir con trabajar en rango de frecuencias anteriormente mencionados y la potencia de la señal debe aumentar a un nivel mayor a 35 dB para que la imagen y el sonido tengan un nivel de nitidez aceptable.

Existen diversos fabricantes que cumplen con estas especificaciones como, por ejemplo, la marca Pico Macom modelo CA30RK550.

Las especificaciones técnicas del amplificador recomendado se muestran en el Anexo 7.

3.2 Propuesta de implementación del diseño de la cabecera utilizando PMI

Para la descripción de la propuesta denominaremos “proyecto” a la implementación del diseño de la cabecera satelital. Esto con fines de emplear la metodología del *Project Management Institute* (PMI). En función de las recomendaciones del PMI, se deben elaborar cuatro documentos: Plan de Gestión de Recursos Humanos, Plan de Comunicación, Plan de Trabajo y Plan de Riesgos.

Puesto que, las características del proyecto están completamente definidas, lo recomendable es utilizar el método estructurado denominado cascada. Otros métodos como Agil, Scrum, Canvas o XP (Extreme Programming) no son aplicables, puesto que, son metodologías para proyectos donde no se tiene definido claramente los requerimientos, como por ejemplo el desarrollo de software.

3.2.1 Plan de gestión de recursos humanos

En este subcapítulo se identifican, detallan y describen a los interesados en que este diseño se implemente. Además, se propone un equipo de trabajo de acuerdo a sus roles, funciones y objetivos.

3.2.1.1 Interesados

Los interesados o stakeholders son todas las personas u organizaciones cuyos intereses son afectados con la ejecución o finalización del proyecto.

Estas variables (poder de influencia e interés), ayudan a establecer una estrategia respecto al nivel de influencia e interés de cada persona u organización. La tabla adjunta muestra a los interesados o stakeholders.

Tabla 3.20: Stakeholders o interesados
Fuente: Elaboración propia

Interesado	Respecto al proyecto	Compromiso			Poder de influencia	Interés	Estrategia
		No sabe	Neutro	Apoya			
Presidente de la República	Externo			X	Alto	Alto	Gestionar de cerca
Primer Ministro	Externo			X	Alto	Alto	Gestionar de cerca
Entidades públicas	Externo	X			Bajo	Bajo	
Director Nacional de Inteligencia	Interno			X	Alto	Alto	Gestionar de cerca
Director de Inteligencia	Interno			X	Alto	Alto	Gestionar de cerca
Director de Contrainteligencia	Externo			X	Alto	Alto	Gestionar de cerca
Jefe de Colección	Interno			X	Alto	Alto	Gestionar de cerca
Jefe de Analistas	Externo			X	Bajo	Alto	Informar
Colectores de información	Interno			X	Bajo	Alto	Informar
Analistas	Externo			X	Bajo	Alto	Informar
Sociedad civil	Externo	X			Bajo	Bajo	Monitorear
Director del proyecto	Interno			X	Bajo	Alto	Informar
Equipo del proyecto	Interno			X	Bajo	Alto	Informar
Líder de paquete	Interno			X	Bajo	Alto	Informar
Coordinador de comunicación	Interno			X	Bajo	Alto	Informar

3.2.1.2 Roles y funciones

El organigrama del personal requerido para la ejecución del proyecto propuesto es el que se muestra en la siguiente figura.

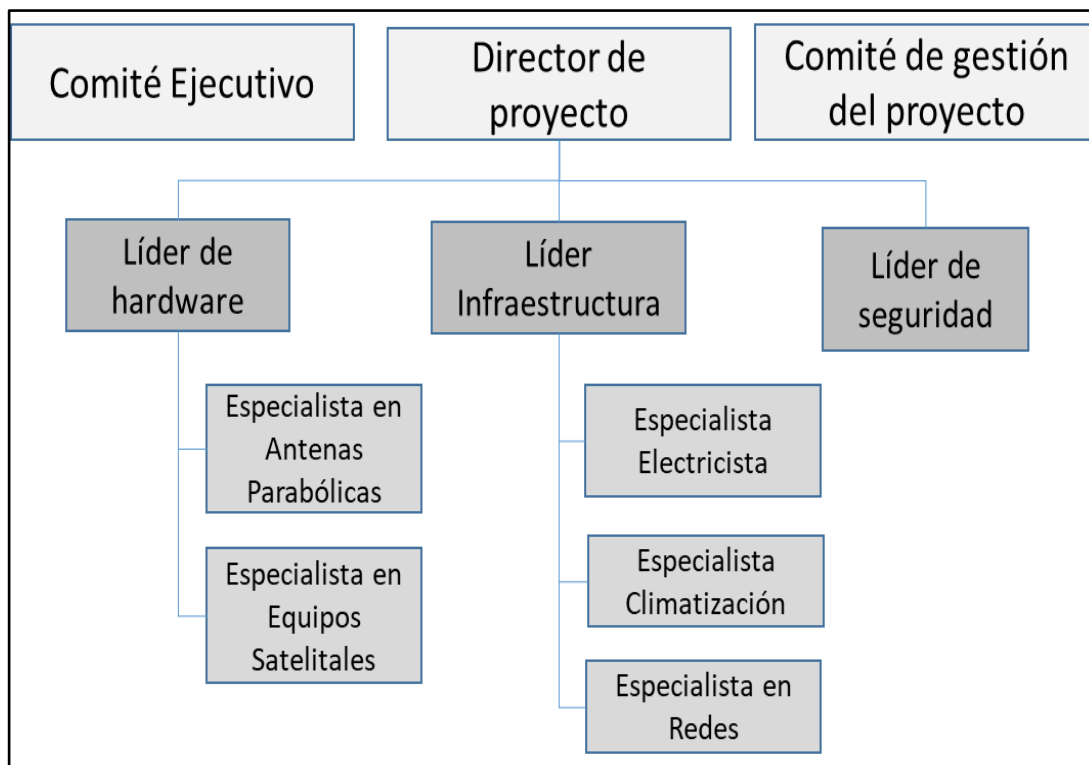


Figura 3.2: Organigrama del proyecto
Fuente: Elaboración propia

Con el organigrama del personal propuesto se deberán definir los objetivos, requisitos y funciones de cada uno de los roles o personas involucradas, en calidad de ejemplo se mostrará el cuadro descriptivo correspondiente a los roles y funciones del Director del Proyecto. Lo cual incluyen los objetivos, perfil y descripción del puesto.

Tabla 3.21: Roles y funciones del Director del Proyecto
Fuente: Elaboración propia

1. IDENTIFICACIÓN DEL ROL	
Denominación del rol	Director del Proyecto
Reporta a: Comité de gestión del proyecto. Consejo ejecutivo.	Le reporta: Líder de hardware. Especialista en antenas parabólicas. Especialista en equipos satelitales. Líder de Infraestructura. Especialista electricista. Especialista en climatización. Especialista en redes. Líder en seguridad.
2. OBJETIVO DEL ROL	
Responsable de liderar y administrar el proyecto, asegurando y garantizando que se cumplan los alcances de la propuesta, según los recursos asignados.	
3. PERFIL	
Profesional con formación en ingeniería electrónica, telecomunicación, sistemas o similar, con especialización en gestión de proyectos. Experiencia de 5 años en implementación de proyectos tecnológicos. Debe tener certificación PMI vigente.	
4. DESCRIPCIÓN	
Supervisar el cumplimiento de los requisitos del diseño. Supervisar el cumplimiento del cronograma de proyecto. Supervisar el cumplimiento de las actividades del equipo del proyecto. Coordinar y organizar los avances o variaciones del proyecto. Mantener actualizada la documentación del proyecto. Gestionar los recursos necesarios para las actividades del proyecto.	

3.2.2 Plan de comunicación

La comunicación es un factor importante y decisivo para culminar con éxito un proyecto. Además, el personal involucrado debe estar constantemente informado para que el proyecto tenga el avance y gestión esperado.

Por lo cual, se propone las acciones del cuadro adjunto como Plan de Comunicación a seguir en el proyecto propuesto, en el cual se detalla:

- La acción propuesta.
- El público objetivo.
- El expositor a cargo de la comunicación.
- El medio de comunicación.
- El contenido principal.
- La frecuencia de la comunicación.

Tabla 3.22: Plan de comunicación
Fuente: Elaboración propia

ACCIÓN	PÚBLICO OBJETIVO	EXPOSITOR	MEDIO DE COMUNICACIÓN	CONTENIDO	FRECUENCIA
Kick off	Directores Jefes de Unidad Equipo del proyecto	Director del Proyecto	Reunión (Face to face, video conferencia o similar)	Objetivos del proyecto Planificación Presentación del equipo	Inicio
Presentación del proyecto	Usuarios	Director del Proyecto	Reunión	Objetivos del proyecto Planificación Presentación del equipo	Inicio
Informe de avance de los paquetes de trabajo	Equipo del proyecto	Líder del paquete	Reunión	Revisión del estado del paquete de trabajo	Diario
Informe de avance del proyecto	Directores Jefes de Unidad Equipo del proyecto	Coordinador de comunicación	Reunión (Face to Face, video conferencia o similar)	Revisión del estado del proyecto	Semanal
Informe de conformidad del paquete de trabajo	Directores Jefes de Unidad Equipo del proyecto	Coordinador de comunicación	Reunión (Face to Face, video conferencia o similar) Acta de conformidad (física o correo electrónico)	Presentación del requisito finalizado	Al concluir el (los) requisito(s)

3.2.3 Plan de trabajo

La metodología del *Project Management Institute* (PMI), recomienda para una mejor gestión del proyecto, elaborar tres documentos que formarán el plan de trabajo del proyecto:

- Definición de los paquetes de trabajo.
- Cronograma del trabajo.
- Los costos estimados.

3.2.3.1 Definición de los paquetes de trabajo

En este subcapítulo se define la EDT (Estructura de Trabajo) o WBS (*Work Breakdown Structure*), la cual, se divide en mínimas unidades denominadas paquetes de trabajo del proyecto.

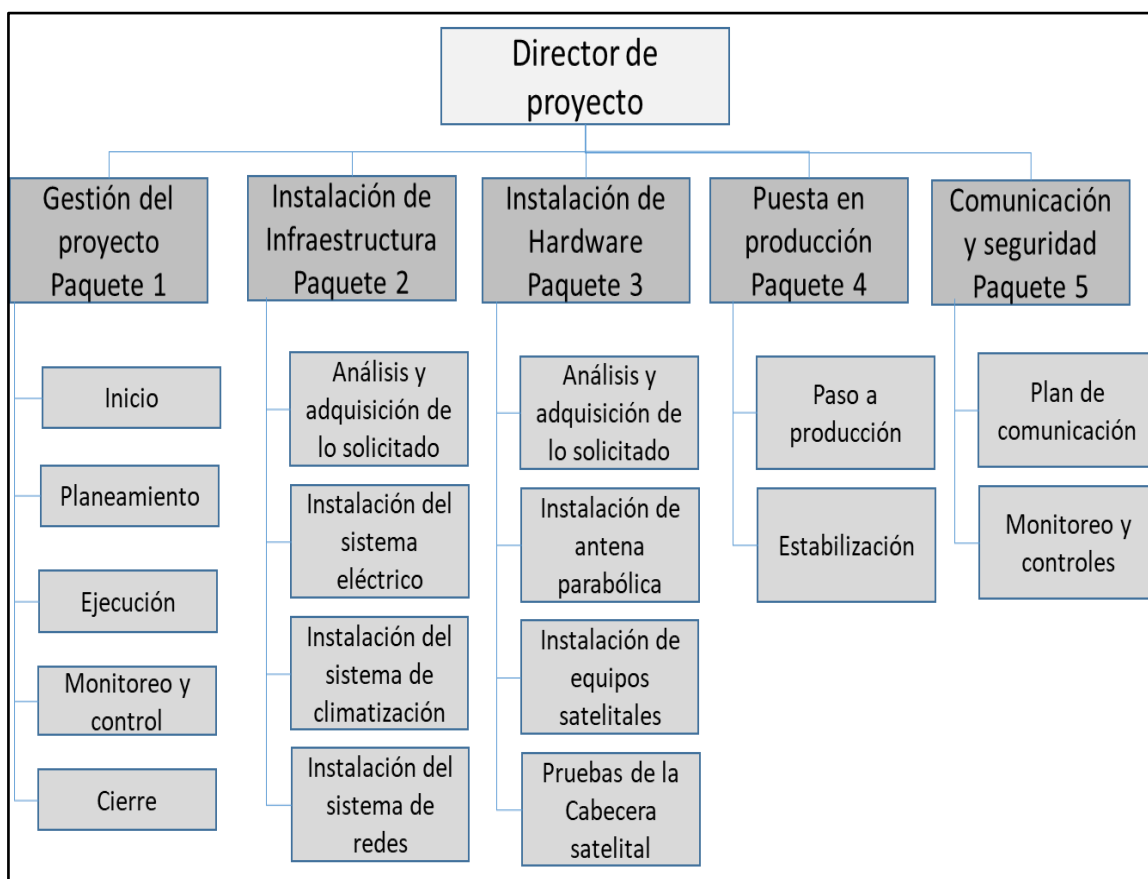


Figura 3.3: Estructura de desglose de trabajo (EDT) o *Work Breakdown Structure* (WBK)

Fuente: Elaboración propia

En calidad de ejemplo ilustrativo, en la tabla adjunta se definirá el primer paquete de trabajo, el cual es uno de los cinco paquetes de trabajo propuestos y que se han mostrado en la figura anterior.

Tabla 3.23: Paquete 1: Gestión del Proyecto
Fuente: Elaboración propia

N° de paquete: P1	Título: Gestión del proyecto
Fecha de inicio: M1, S1 Fecha final: M4, S4	Responsable: Director del proyecto
<p>OBJETIVO:</p> <p>Planificar la gestión del proyecto para que se desarrolle de forma efectiva, cumpliendo con los requerimientos, dentro de los tiempos y costos estimados.</p>	
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>Tarea 1.1 Inicio.</p> <p>Tarea 1.2 Planeamiento.</p> <p>Tarea 1.3 Ejecución.</p> <p>Tarea 1.4 Monitoreo y control.</p> <p>Tarea 1.5 Cierre</p>	
<p>ENTREGABLE:</p> <p>Plan del proyecto.</p> <p>Informe de inicio del proyecto (Kick off).</p> <p>Informe de avance del proyecto.</p> <p>Informe de solicitud de recursos.</p> <p>Informe de cierre del proyecto.</p>	

3.2.3.2 Propuesta de cronograma de trabajo

El cronograma de trabajo debe considerar como un elemento importante la disponibilidad del recurso humano.

A continuación, se muestra una propuesta de cronograma de trabajo.

Tabla 3.24: Cronograma de trabajo para la implementación
Fuente: Elaboración propia

PQ	TÍTULO	M1				M2				M3				M4		
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3
1	Gestión del proyecto															
	Inicio															
	Planeamiento															
	Ejecución															
	Monitoreo y control															
	Cierre															
2	Instalación de la infraestructura															
	Análisis y adquisición de lo solicitado															
	Instalación del sistema eléctrico															
	Instalación del sistema de climatización															
	Instalación del sistema de redes															
3	Instalación del hardware															
	Análisis y adquisición de lo solicitado															
	Instalación de antena parabólica															
	Instalación de equipos satelitales															
	Pruebas de la cabecera satelital															
4	Puesta en producción															
	Paso a producción															
	Estabilización															
5	Comunicación y seguridad															
	Plan de comunicación															
	Monitoreo y control															

3.2.3.3 Costos estimados del proyecto

El proyecto no genera una producción monetaria, por lo cual, no existen costos variables y fijo. Por lo tanto, se definirán los costos directos e indirectos, teniendo en consideración estimaciones de proyectos tecnológicos anteriormente realizados. Además, se debe considerar un costo de reserva o contingencia que, servirá para alguna eventualidad que pueda ocurrir durante el desarrollo del proyecto.

Dentro de los costos directos se tiene los costos del personal, el cual se detalla en la tabla adjunta.

Tabla 3.25: Costo del Personal
Fuente: Elaboración propia

Personal	Hora total	Costo por hora (US\$)	Paquete 1		Paquete 2		Paquete 3		Paquete 4		Paquete 5	
			Hora	US\$	Hora	US\$	Hora	US\$	Hora	US\$	Hora	US\$
Director del proyecto	205	100	60	6,000	35	3,500	35	3,500	35	3,500	40	4,000
Líder de hardware	264	50		0	40	2,000		0	20	1,000		0
Líder de Infraestructura	296	50		0		0	45	2,250	40	2,000		0
Líder de Seguridad	296	50	14	700	14	700	14	700	10	500		0
Especialista en Antenas Parabólicas	232	40		0		0	50	2,000	10	400		0
Especialista en Equipos Satelitales	232	40		0		0	50	2,000	10	400		0
Especialista Electricista	232	40		0	50	2,000		0	10	400		0
Especialista Climatización	232	40		0	50	2,000		0	10	400		0
Especialista en Redes	232	40		0	50	2,000		0	10	400		0
Costo total (US\$)				6,700		12,200		10,450		9,000		4,000

En la siguiente tabla se verán los costos directos e indirectos del proyecto, incluyendo el costo del personal.

Tabla 3.26: Costo del proyecto por cada paquete de trabajo
Fuente: Elaboración propia

Descripción	Paquete 1 (US\$)	Paquete 2 (US\$)	Paquete 3 (US\$)	Paquete 4 (US\$)	Paquete 5 (US\$)
Costo de personal (CD)	6,700	12,200	10,450	9,000	4,000
Sistema Eléctrico (CD)		4,000			
Sistema de Climatización (CD)		4,000			
Sistema de Redes (CD)		4,000			
Antena Parabólica (CD)			24,000		
Equipos Satelitales (CD)			12,000		
Capacitación (CD)		100	100		
Costo administrativo (CI)	300	300	300	300	300
Costo total por paquete (US\$)	7,000	24,600	46,850	9,300	4,300

Como costo de contingencia se recomienda tomar el 5% del valor del proyecto. Por lo que, el costo total del proyecto sería de US\$ 96,653.

3.2.4 Plan de riesgos del proyecto

El riesgo es el potencial que tiene una acción o actividad para causar una pérdida o resultado no deseado en el proyecto.

Las estrategias que se aplican a los riesgos son transferirlo, evitarlo, retenerlo o compartirlo. El riesgo debe ser entendido y anticipado, para lo cual, se elabora el plan riesgos mostrado en la siguiente tabla según la metodología de probabilidad vs impacto.

Tabla 3.27: Plan de riesgos del proyecto
Fuente: Elaboración propia

N°	Amenaza	Consecuencia	Mitigación	Impacto	Probabilidad	Prioridad
R1	Que los recursos asignados no sean los suficientes.	Que el proyecto no cubra todos los requerimientos	Solicitar más recursos.	C	C	C
R2	Que se retrase el proceso de contrato del personal.	Que el proyecto no se realice en el tiempo estimado.	Coordinar desde el inicio con la oficina de contratos.	A	B	A
R3	Que la adquisición y entrega de sistemas o equipos tarde más de lo esperado.	Que el proyecto no se realice en el tiempo esperado.	Validar con los proveedores una contingencia.	C	C	C
R4	Cambios en las normativas que afecten al desarrollo del proyecto.	Que se modifiquen los alcances y necesidades para el proyecto.	Asignar un costo de mitigación por si se supera lo estimado.	A	B	A
R5	Que los requerimientos no se ajusten a las necesidades de la institución sino solo a necesidades personales.	Que el proyecto no tenga la vida útil esperada o la mayoría de los usuarios no estén satisfechos.	Validar los requerimientos con la mayor parte de usuarios finales.	A	C	B

N°	Amenaza	Consecuencia	Mitigación	Impacto	Probabilidad	Prioridad
R6	Que no se realicen las revisiones o aprobaciones en los tiempos estimados.	Que el proyecto no se cumpla en los tiempos estimados.	Incluir el seguimiento en los controles de supervisión.	A	C	B
R7	Que la tecnología que utiliza la entidad no soporte la herramienta propuesta.	El proyecto no se desarrolle.	Involucrar a las áreas necesarias para la validación del proyecto.	A	C	B

El Plan de riesgos debe ser dinámico y revisarse periódicamente durante el desarrollo del proyecto. Además, respecto a los riesgos con prioridad (A), se debe de elaborar un plan de mitigación específico, el cual se debe revisar continuamente.

4 CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se analiza el cumplimiento de los objetivos específicos considerando los indicadores de logro y las métricas, los cuales han sido elaborados y detallados en el subcapítulo 1.3.3.

Analizando los datos obtenidos, para el diseño de la cabecera satelital en banda C y Ku para recepcionar señales de televisión abierta de otros países, se obtienen los siguientes resultados:

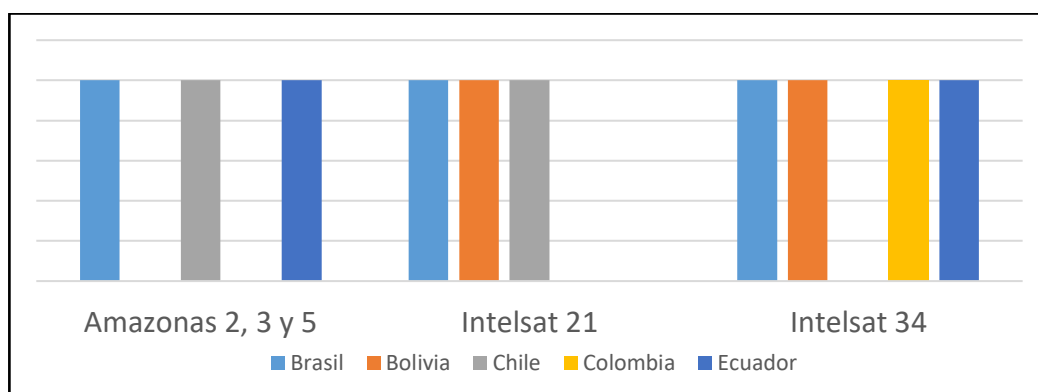
4.1 Cumplimiento del primer objetivo específico

Para determinar cuántos satélites geoestacionarios en banda C y Ku, desde los cuales se reciben señales de televisión de otros países que, están disponibles en la ciudad de Lima-Perú, se utiliza la información que se obtuvo en el subcapítulo 3.1.1 donde se puede apreciar que, en la ciudad de Lima se reciben las señales emitidas de 26 satélites (ver

Tabla 3.8: Consolidado de los satélites disponibles), que cumplen con las condiciones especificadas.

De estos 26 satélites se seleccionaron los que tienen mayor cantidad de señales de televisión y que pertenecen a diferentes países. A continuación, se muestra la gráfica de los satélites que brindan servicio a 3 o más de los países elegidos. Además, por su cercanía, del Amazonas 2, Amazonas 3 y Amazonas 5 se le agrupó para recibir sus señales con una sola antena y se le denominó Amazonas 2, 3 y 5.

Tabla 4.1: Satélites con servicio en tres o más países elegidos
Fuente: Elaboración propia



Vemos que existen 26 satélites geoestacionarios en banda C y Ku con señales de televisión en los países relevantes y analizando los satélites que reciben señales de televisión de 3 o más países simultáneamente determinamos que son 5 satélites los que cumplen esta característica: Amazonas 2, Amazonas 3, Amazonas 5, Intelsat 21 e Intelsat 34.

Se puede apreciar que, las señales de televisión obtenidas se distribuyen en dos constelaciones de servicios satelitales: Hispasat (con la constelación de satélites Amazonas) e Intelsat. Lo cual, nos permite apreciar que, si bien existen varios operadores satelitales, aún sigue existiendo un grupo reducido que concentran las señales de televisión que van por los satélites.

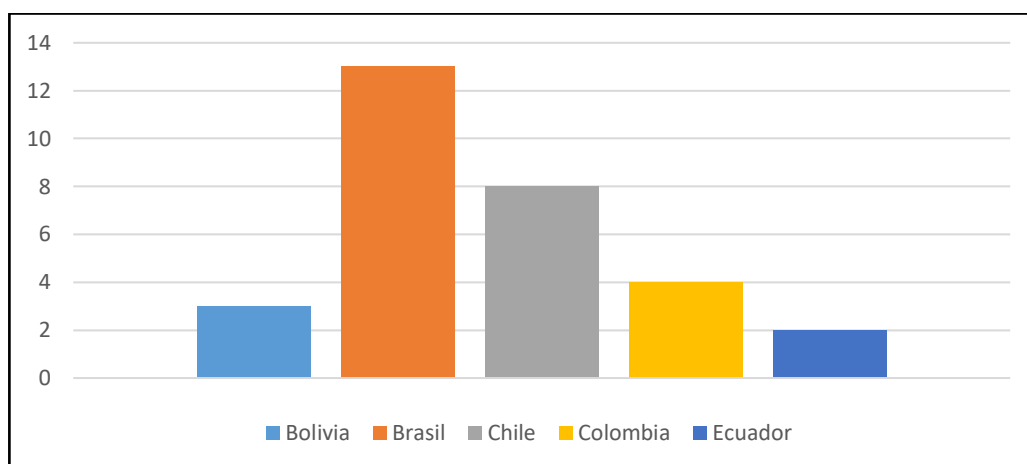
Actualmente, las bandas de frecuencias más utilizadas por los operadores satelitales para brindar el servicio de televisión son las bandas C y Ku, pero estas ya están llegando a su límite y es por esa razón que, se está comenzando a utilizar la Banda Ka.

4.2 Cumplimiento del segundo objetivo específico

Con el cumplimiento del primer objetivo específico, se determinaron los satélites geoestacionarios que tienen señal de televisión. Con esa información se determinan las señales de televisión abierta que, se reciben en la ciudad de Lima y que cumplen con los criterios de información de interés para la institución pública, para lo cual, se analiza la información del subcapítulo 3.1.2.

A continuación, se muestra las cantidades de señales de televisión abierta de los países elegidos y que están disponibles en la ciudad de Lima.

Tabla 4.2: Señales de televisión abierta de cada país elegido
Fuente: Elaboración propia



De la tabla anterior se puede validar que, en total existen 30 señales de televisión abierta entre los cinco países elegidos. Realizando un análisis respecto a la información relevante para la institución vemos que son 9 los canales de televisión abierta que cumplen con los requerimientos de la institución, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4.3: Señales de televisión abierta determinadas para explotación de información
Fuente: Elaboración propia

N°	Canal	País	Posición	Satélite
1	Bolivia TV	Bolivia	55.5°W	Intelsat 34
2	Asamblea Legislativa TV	Brasil	61.0°W	Amazonas 3
3	Record TV Américas	Brasil	58.0°W	Intelsat 21
4	TV Chile	Chile	58.0°W	Intelsat 21
5	TV Senado	Chile	61.0°W	Amazonas 5
6	TV+	Chile	61.0°W	Amazonas 2
7	TVN	Chile	61.0°W	Amazonas 5
8	Televisión	Ecuador	55.5°W	Intelsat 34
9	TV Legislativa	Ecuador	61.0°W	Amazonas 3

Se puede apreciar que, de los nueve canales que se han elegido, cinco pertenecen a tres satélites que están en una posición similar, aproximadamente 61° W (teniendo en consideración la posición de la ciudad de Lima). Esto permitirá utilizar una misma antena, que soporte tres dispositivos Low Noise Block (LNB), para recibir las señales de los tres satélites con lo que se disminuye el costo de adquisición, instalación y mantenimiento de la antena.

En la región de América del Sur, el país que tiene más señales de televisión es Brasil. Además, sus señales están distribuidas en más satélites, comparado con los demás países de la región.

4.3 Cumplimiento del tercer objetivo específico

Analizando el subcapítulo 3.1.3 se determinó el equipamiento recomendado para cumplir con los requerimientos de diseño de la cabecera satelital en bandas C y Ku para recibir las señales de televisión abierta que transmiten los satélites geoestacionarios.

En dicho subcapítulo se determinaron los equipos para la recepción, procesamiento y transmisión de las señales de televisión abierta. Los cuales servirán como referencia para la implementación de la cabecera satelital. A continuación, se detallan los equipos recomendados.

Tabla 4.4: Equipamiento del diseño de la cabecera satelital
Fuente: Elaboración propia

Descripción	Cantidad	Marca	Modelo
Antena parabólica de 3.8 metros	3	Prodalin	1385
Loise Noise Block (LNB), banda C	3	Eigth	LNB C EX 17K
Loise Noise Block (LNB), banda Ku, 4 salidas	3	AbiTech	GKF-2134
Splitter	3	AbiTech	SATV CATV04
Receptor satelital	15	Pico Macom	PR4200IRD
Modulador del 11 al 19 y del 51 al 56	15	Pico Macom	PCM55SAW
Combinador de 24 puertos	1	Pico Macom	PHC24G
Amplificador	1	Pico Macom	CA30RK550

Los equipos necesarios para una futura implementación son comercialmente accesibles en la ciudad de Lima.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se detallan las conclusiones y recomendaciones a las que se han llegado con el trabajo propuesto.

1. CONCLUSIONES

Teniendo en consideración el desarrollo del trabajo, en base al marco teórico y conceptual, se concluye que fue posible realizar el diseño de una cabecera satelital en banda C y Ku, debido a que, la gran mayoría de países tienen, en general, una política transparente de transmisión de información interna por medio de las señales satelitales. Además, el equipamiento necesario para recibir las señales de televisión abierta de los países seleccionados, para una futura implementación, son comercialmente accesibles en Lima-Perú.

Respecto al primer objetivo específico, se encontró que existen satélites geoestacionarios en banda C y Ku, los cuales emiten señales de televisión abierta de los países determinados y que son posibles de recibir en la ciudad de Lima. Estos son: Amazonas 2, Amazonas 3, Amazonas 5, Intelsat 21 e Intelsat 34. En total se encontraron cinco satélites geoestacionarios en la banda C y Ku que nos permite cumplir con el primer objetivo específico del presente trabajo.

Respecto al segundo objetivo específico, se encontraron nueve señales de televisión abierta que cumplen con los criterios de información de interés para la institución pública. Estas son: una de Bolivia, dos de Brasil, cuatro de Chile y dos de Ecuador. Además, se eligió trabajar con señal abierta debido a su facilidad de acceso, en

contraposición de las señales con suscripción que tienen un costo adicional. Por lo cual, se cumple con el segundo objetivo específico planteado.

Respecto al tercer objetivo específico, se especificaron el 100% de todos los equipos necesarios para el diseño de la cabecera satelital en banda C y Ku para recepcionar las señales de televisión abierta. Por lo cual, se cumple con el tercer objetivo específico propuesto en el presente trabajo.

Adicionalmente, para gestionar una futura implementación del diseño se han determinado y elaborado los planes necesarios según la metodología del *Project Management Institute* (PMI). Estos planes son: Plan de Gestión de Recursos, Plan de Trabajo y Plan de Riesgos, los cuales serán de gran ayuda, puesto que, le dan un orden a una futura implementación del proyecto.

2. RECOMENDACIONES

Después de desarrollar el presente trabajo, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Implementar el trabajo propuesto, bajo el estándar PMI sugerido, el cual es beneficiaría la función de la institución pública, la cual es producir inteligencia estratégica.
- Integrar al diseño, las señales del servicio de radio provenientes de los mismos satélites geoestacionarios que se están explotando, lo cual, incrementará las fuentes de información necesarias para la institución pública.
- Analizar la posibilidad de incrementar las señales de televisión de suscripción que provenga de los mismos satélites geoestacionarios que se han seleccionado, en función a las necesidades de la institución pública.
- Diseñar e implementar una plataforma tecnológica que ayude con la explotación y la clasificación automática de las informaciones provenientes de las señales de televisión.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]: Ley 30535, del 19 de diciembre del 2016, Ley que modifica el Decreto Legislativo 1141, Decreto Legislativo de Fortalecimiento y Modernización del Sistema de Inteligencia Nacional - SINA y de la Dirección Nacional de Inteligencia – DINI. Congreso de la República del Perú, del 19 de diciembre del 2016.
- [2]: Labán Agüero, Jorge Luis y Berrios Morón, Jonathan Glenn. Tesis para optar el título de Ingeniero de Telecomunicaciones y Redes, “Diseño de una cabecera satelital DVB-S2 en la ciudad de Lima orientada la retransmisión nacional de la señal emitida por los canales locales de TDT de bajo presupuesto”, Lima, Perú, 2015.
- [3]: Amorós Tirado, Jorge Félix Iván. Informe Técnico por experiencia profesional calificada para optar el título de Ingeniero Electrónico, “Diseño e implementación de un sistema Up Link DTH”, Lima, Perú, 2013.
- [4]: Matos Párraga, Diego Antonio. Tesis para optar el título de Ingeniero de las Telecomunicaciones, “Diseño de una red de acceso para el negocio de televisión por paga para el área rural usando la televisión digital terrestre”, Lima, Perú, 2012.
- [5]: Giambene, G. Resource Management in Satellite Networks Optimization and Cross-Layer Design. Italia: Springer Science, 2007.
- [6]: International Telecommunication Union (ITU) News Magazine. Evolving satellite communications. Suiza: ITU News, 2019.
- [7]: Blake, R. Wireless Communication Technology. United State: Delmar Cengage Learning, 2001.
- [8]: Sharma S., Chatzinotas S. y Arapoglou P. Satellite Communications in the 5G Era. United Kingdom: CPI Group (UK) Ltd, 2018.
- [9]: Junkel, G. Shielding of Electromagnetic Waves. Suiza: Springer Nature, 2020.

- [10]: Huang, S., Zhang, Y., Wei, Z. y otros. Theory and Methodology of Electromagnetic Ultrasonic Guided Wave Imaging. Singapur: Springer Nature Singapore.
- [11]: Fawwaz, U. Fundamentals of Applied electromagnetis, 5th ed. United State: Pearson Education Inc, 2007.
- [12]: Bará, J. Ondas electromagnéticas en comunicaciones. España: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL, 2000.
- [13]: Tomasi. W. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Cuarta edición. México: Person Educación S.A, 2003
- [14]: Kodheli, O., Lagunas, E., Maturo, N., Shankar, B y otros. Satellite Communications in the New Space Era: A Survey and Future Challenges. Luxemburgo: University of Luxembourg, 2020.
- [15]: Alonso, M. y Casas, M. Trabajo de investigación "Televisión Digital Vía Satélite". 2012.
- [16]: Maral, G., Bousquet, M. y Sun, Z. "Satellite Communications Systems - Sixth Edition". U.K.: CPI Group, 2020.
- [17]: Otung, I. y Giambene, G. "Wireless and Satellite Systems". U.K.: Springer International Publishing, 2015.
- [18]: Gallardo, S. "Elementos de Sistemas de Telecomunicaciones". España: Ediciones Praninfo S.A, 2015.
- [19]: Pérez, C., Zamanillo, J. y Casanueva, A. "Sistemas de Telecomunicaciones". España: Editorial Universidad De Cantabria, 2007.
- [20]: Ramírez, R. "Sistemas de Radiocomunicaciones". España: Ediciones Paraninfo S.A, 2015.
- [21]: Briceño, J. "Transmisión de Datos". Venezuela: Taller de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, ULA, 2005.
- [22]: Pratt, T. Allnut, J. "Satellite Communications". India: WarnockPro by Aptara Inc, 2020.
- [23]: Grewal, M., Andrews, A. y Bartone Ch. "Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration - 4thEdition". U.S.: WarnockPro by SPi Global, 2020.

ANEXOS

4.4 Anexo 1: Especificaciones técnicas de la Antena Prodelin serie 1385

3.8M Tx/Rx VSAT Antenna

Series 1385

Technical Specifications

Electrical		C-Band Linear	C-Band Circular	Ku-Band Linear	X-Band Circular
Antenna Size		3.8 M	3.8 M	3.8 M	3.8 M
Operating Frequency (GHz)	Receive	3.625 - 4.20 GHz	3.625 - 4.20 GHz	10.95 - 12.75 GHz	7.25 - 7.75 GHz
	Transmit	5.845 - 6.425 GHz	5.845 - 6.425 GHz	13.75 - 14.50 GHz	7.90 - 8.40 GHz
Midband Gain (+/- .5dB)	Receive	42.00 dBi	41.80 dBi	51.20 dBi	47.80 dBi
	Transmit	46.20 dBi	46.30 dBi	53.00 dBi	48.40 dBi
VSWR	Receive	1.3:1 Max (<-17.70 dB)	1.3:1 Max (<-17.70 dB)	1.5:1 Max (<-14.00 dB)	1.3:1 Max (<-17.70 dB)
	Transmit	1.3:1 Max (<-17.70 dB)	1.3:1 Max (<-17.70 dB)	1.3:1 Max (<-17.70 dB)	1.3:1 Max (<-17.70 dB)
Pattern Beamwidth (in degrees at midband)	-3 dB	Rx 1.40 deg Tx 0.90 deg	Rx 1.40 deg Tx 0.90 deg	Rx 0.50 deg Tx 0.40 deg	Rx 0.80 deg Tx 0.70 deg
	-15 dB	Rx 3.20 deg Tx 2.00 deg	Rx 3.20 deg Tx 2.00 deg	Rx 1.00 deg Tx 0.90 deg	Rx 1.60 deg Tx 1.50 deg
Sidelobe Envelope, Co-Pol (dBi)	100λ / D < θ ≤ 20°	29 - 25 Logθ dBi	29 - 25 Logθ dBi	29 - 25 Logθ dBi	29 - 25 Logθ dBi
	20° < θ ≤ 26.3°	-3.5 dBi	-3.5 dBi	-3.5 dBi	-3.5 dBi
	26.3° < θ ≤ 48°	32 - 25 Logθ dBi	32 - 25 Logθ dBi	32 - 25 Logθ dBi	32 - 25 Logθ dBi
	θ > 48°	-10 dBi (averaged)	-10 dBi (averaged)	-10 dBi (averaged)	-10 dBi (averaged)
Note: In receive portion of C-band only, sidelobe envelope specified from 100λ/D rather than 1°					
Antenna Noise Temperature					
5° Elevation		55 K	62 K	70 K	60 K
10° Elevation		45 K	52 K	60 K	51 K
20° Elevation		38 K	45 K	55 K	47 K
40° Elevation		36 K	43 K	45 K	47 K
Power Handling		1 kW	1 kW	100 W	2 kW
Cross Polarization Isolation					
On Axis		> 30 dB	Rx > 15.00 dB Tx > 17.70 dB	Rx > 30.00 dB Tx > 35.00 dB	Rx > 23.20 dB Tx > 18.80 dB
Within 1.0 dB Beamwidth		> 27 dB	Rx > 15.00 dB Tx > 17.70 dB	Rx > 25.00 dB Tx > 26.00 dB	Rx > 23.20 dB Tx > 18.80 dB
Note: Standard C-band Circular polarization in Tx-Band provides an axial ratio of 1.3 (XPD equivalence of 17.7 dB). Optional F-1 station feed available with axial ratio of 1.09 (XPD equivalence > 27.3 dB) in Tx band. Call factory when specifying this option. X Band filters available upon request.					
Output Waveguide Interface Flange	Receive Transmit	CPR 229 F CPR 137 or Type N	CPR 229 F CPR 137 or Type N	WR 75 WR 75	WR 112 WR 112

Fuente: http://www.servsat.com/_pdfs/Prodelin%201385.pdf

4.5 Anexo 2: Especificaciones técnicas del LNB en banda C y Ku

Especificaciones técnicas del LNB en banda C

Model	LNB C EX 17K	KDF-113	KDR-678
Band	C band LNB	Ku band LNB	Ku band LNB
Input Frequency	3.7 ~ 4.2 GHz	12.25 ~ 12.75 GHz	12.25 ~ 12.75 GHz
Output Frequency	950 ~ 1450 MHz	950 ~ 1450 MHz	950 ~ 1450 MHz
L.O & Stability (Over Temperature)	5.15 GHz \pm 2.5 MHz	11.3 GHz \pm 2 MHz	10.678 GHz \pm 2 MHz
Noise Temperature (@+25 degree C)	25 ~ 35K (max)	0.6 ~ 0.9 dB (max)	0.6 ~ 0.9 dB (max)
Input VSWR	2.5:1 (typ)	2.5:1 (typ)	2.5:1 (typ)
Image Rejection	40 dBc (min)	40 dBc (min)	40 dBc (min)
Conversion Gain	66 dB typ (62dB min, 72dB max)	55 dB (typ)	55 dB (typ)
1 dB Gain Compression Point	5 dBm (typ)	0 dBm (min)	0 dBm (min)
Output VSWR	2:1 (typ)		
Gain Flatness	6 dBp-p (max)		
Gain Ripple (@ per channel)	\pm 0.75 dB (max)		
Output Impedance	75 Ω		
Leakage (@ Input port)	-60 dBm (max)		
Phase Noise	-80 dBc/Hz (@10KHz)		
	-95 dBc/Hz (@100KHz)		
	-110 dBc/Hz (@1MHz)		
Power Supply	12 ~ 24V DC		
Requires Current	150mA (max)		
Operating Temperature	-30°C ~ 60°C		
Storage Temperature	-40°C ~ 80°C		
Relative Humidity	0% ~ 95% RH		
Input Waveguide Flange	WR-229	WR-75	WR-75
IF Output Connector	F-Type Female		

Fuente: http://www.eightgroup.com/upload/product/228/doc_eng/5e12f87dbdddb.pdf

Especificaciones técnicas del LNB en banda C

Artículo	Especificación	Artículo	Especificación
Frecuencia de Entrada	Low Band: 10.70 ~ 11.70GHz High Band: 11.70 ~ 12.75GHz	LO ruido de fase	-50dBc/Hz @ 1KHz -75dBc/Hz @ 10KHz -95dBc/Hz @ 100KHz
Rango de frecuencia de salida	Baja de banda: 950 ~ 1950MHz High Band: 1100 ~ 2150MHz	Rechazo de imagen	40dB (Min.)
Figura de ruido	Low Band: (Típico) High Band: (Típico)	Salida VSWR	2.0:1 (Max).
Conversión Ganancia	60dB (Típico)	Potencia de salida	0dBm (Min.) (en compresión de ganancia de 1 dB)
Ganancia Planitud	\pm 0.5dB/26MHz	Tipo de conector	Conector Hembra 75 Ω
Cruz POL. Aislamiento	25dB (Típico)	DC Consumo de corriente	180 mA (tip.)
LO Frecuencia	Low Band: 9.75GHz High Band: 10.60GHz	POL.Switching Voltaje	10.5 ~ 14.0V @ VP 16.0 ~ 20.0V @ HP
LO Estabilidad de frecuencia	\pm 1.0MHz (Max.) @ 25 °C \pm 2.0MHz (Max.) @ -30 °C ~ +70 °C	Tensión de funcionamiento	10,5 ~ 20VDC
Temperatura de funcionamiento	-30 °C ~ +70 °C		

Fuente: <https://www.aibitech.com/>

4.6 Anexo 3: Especificaciones técnicas del splitter

AibiTech



Splitter DTH Satellite SATV CATV 04, Power passing-24V 0.8A Low insertion loss, high isolation

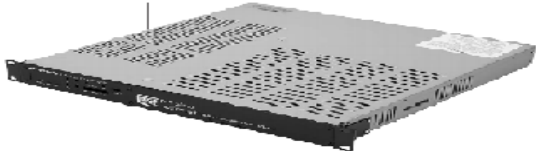
- Carcasa fundida a troquel del cinc, estañado
- Peso ligero y tamaño compacto
- Instalación fácil con dos sitios del agujero del borde
- Factor de detección: 5-2400MHz \geq 100dB
- Baja pérdida de inserción, alto aislamiento, índice de rendimiento perfecto
- Diseñado para SATV / CATV
- Paso de energía-24V 0.8A (MÁX)
- Todos los puertos F- (f) conector, 75Ohm

Fuente: <https://www.aibitech.com/>

4.7 Anexo 4: Especificaciones del receptor satelital Pico Macom PR4200IRD

PR4200IRD

Commercial Satellite Integrated Receiver Decompressor



RF

Input Impedance:	75 ohms
Input Frequency: C band	950 MHz to 1450 MHz
Ku band	950 MHz to 1750 MHz
Input Level:	-30 to -60 dBm
IF Frequency:	70 MHz
AFC Range:	@ 70 MHz, ± 4 MHz
IF Bandwidth:	@ -3 dB, 27 MHz
FM Threshold:	< 7 dB
Intermodulation:	-40 dB
Spurious Rejection:	-40 dB

Audio

Sub-carrier Audio	
Bandwidth:	± 250 kHz deviation minimum
Sub-carrier Frequency:	6.8 MHz preset or 5 - 8.5 MHz (tunable)
Impedance:	600 ohms (unbalanced)
Dynamic Range:	80 dB S/N
De-emphasis:	75 microseconds
Audio Base Band	
Frequency Response:	± 0.25 dB, 20 Hz - 15 kHz
Dynamic Range:	80 dB S/N
THD:	< 0.5%
Output Level:	+17 dBm max

Ordering Information

PR-4200IRD	Specify CATV or UHF
PR-4200IRD-C	Chassis only
VCRS+MOD	VIDEOCIPHER® Module only

Video

Clamped	
Format:	NTSC Negative sync
Output Impedance:	75 ohms
Video Out Level:	(@ 10.75 MHz deviation) 1.0 V p-p minimum
Video S/N Ratio:	@ 14 dB CNR 52 dB weighted
Video Polarity: (Switchable)	Normal or inverted
Differential Gain:	< 5% (10-90 APL)
Differential Phase:	< 5° (10-90 APL)
Lum/Chrom IMD:	< 2 IRE
Lum/Chrom Gain Inequality:	± 5 IRE max
Video Frequency Response:	± 0.5 dB, 30 Hz - 4.2 MHz
Bandwidth:	4.2 MHz
Clamping:	40 dB
Deemphasis:	CCIR REC 405-1
Unclamped Composite Video:	± 0.5 dB, 30 Hz to 8.5 MHz

General

Power Input :	103.5-125 VAC 50/60 Hz
Operating Temperature:	-10°C to 60°C
Dimensions:	19"(L) x 18"(D) x 1 3/4"(H)
Weight:	14.0 lbs.
V/H Control:	+5 VDC/-5 VDC
LNB Supply Voltage:	Switchable +18 Vdc


VIDEOCIPHER® is a registered trademark of General Instruments Corp. (Motorola)

Fuente: <https://www.multicominc.com/>

4.8 Anexo 5: Especificaciones del modulador Pico Macom PCM55AW

PCM55SAW

550MHz Channelized-Agile PLL SAW-filtered A/V Modulator



RF

Channels: 90 Channels (CATV T7-T13, 2-78, 95-99)

Frequency Range: 5.75-550 MHz

Output Level: 55 dBV min., 58 dBmV typ. adjustable from front panel

Output Impedance: 75 Ohms

Output Return Loss: -15 dB

Audio/Video Ratio: Adjustable -7 to -22 dB below video carrier

Frequency Stability: ±10 KHz (±5 kHz in aeronautical band)

Spurious Output: -60 dB below video carrier with A/V ratio @ -15 dB

C/N (In-Band): >62 dB

C/N (Out-of Band): >65 dB

Rejection: Fv - 1.5 MHz >-60 dB
Fv - 4.5 MHz >-63 dB
Fa + 1.5 MHz >-63 dB
Fa + 4.5 MHz >-63 dB

Video

Input Level: 1.0 V p-p for 87.5% mod.
0.5 V p-p to 1.5 V p-p

Input Level Range: Clamped video neg. sync ±1.5 dB, DC to 4.2 MHz

Input Type: <5% (10 to 90% APL)

Frequency Response: >5° (10 to 90% APL)

Differential Gain: <5% (10 to 90% APL)

Differential Phase: >5° (10 to 90% APL)

Hum and Noise: -60 dB @ 87.5% modulation

Video Signal to Noise: -60 dB minimum (weighted)

Meets FCC group delay predistortion correction requirement for color transmission.

Audio

Frequency Response: ±0.4 dB @ 50 Hz to 15 kHz

Harmonic Distortion: 0.5% @ 50 Hz to 15 kHz

Preemphasis: 75 microseconds

Signal to Noise Ratio: 60 dB

Audio Baseband Impedance: 600 Ohms

Input Level: 0.5V p-p for 25 KHz peak deviation

General

Power Input: 120 VAC 60 Hz 10W

Operating Temperature: -10°C to 50°C

Dimensions: 19"(L) x 3"(D) x 1 3/4"(H)

Weight: 3.6 lbs.

Connectors: "F" Type

Ordering Information


PCM55SAW - Channel

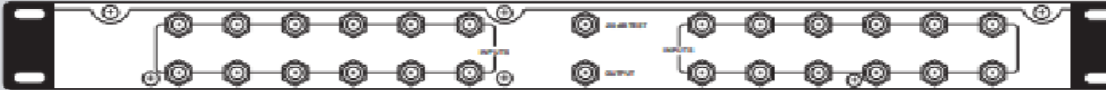
Fuente: <https://www.multicominc.com/>

4.9 Anexo 6: Especificaciones del combinador Pico Macom PHC24G

PHC Series

1 GHz Broadband Passive Headend Combiners





Rear View PHC-24G

Specifications

Frequency Range: 5 - 1000 MHz

Port-to-Port Isolation: Adjacent Ports 30 dB typical
Opposite Ports 40 dB typical

Insertion Loss: PHC-12G -18 dB typical
PHC-24G -21 dB typical

Mounting: 19" Rack

Finish: Black Matte

Dimensions: 19"(L) x 3"(D) x 1 3/4"(H)

Weight: PHC-12G 2.5 lbs.
PHC-24G 3.3 lbs.

Connectors: All "F" type

Test Point: -20 dB

Ordering Information

PHC-12G 12 Channel


PHC-24G 24 Channel

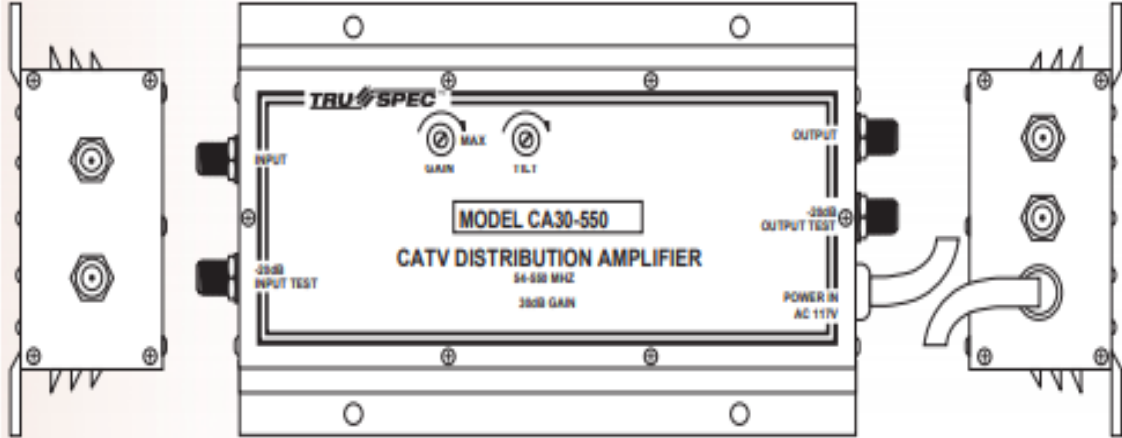
Fuente: <https://www.multicominc.com/>

4.10 Anexo 7: Especificaciones del amplificador Pico Macom CA30RK550

CA30/550

550MHz Push-Pull Distribution Amplifier





Specifications

Bandwidth:	54-550 MHz	Composite Triple Beat:	-61 dB
Gain:	30 dB	Return Loss In:	16 dB
Gain Adjust Range:	8 dB	Return Loss Out:	16 dB
Slope Adjust Range:	8 dB	Test Points:	-20 dB
Flatness:	± .5 dB per channel	Power Input:	115 VAC, 60 Hz, 4 W
Max. Output @ Max Slope:	45 dBmV (54 channels)	Operating Temperature:	-10° to +50° C
	-57 dB cross modulation)	Dimensions:	8"(L) x 2 3/4"(D) x 4 1/2"(H)
Noise Figure:	5.0 dB	Weight:	2.3 lbs.
Second Order Beats:	-70 dB		

Channel Loading Specifications

Total # of Channels	Max. Input Level	Max. Output Level @ Max Slope
7	44 dBmV	66 dBmV
12	41 dBmV	63 dBmV
36	32 dBmV	54 dBmV
54	23 dBmV	45 dBmV
78	18 dBmV	40 dBmV

Fuente: <https://www.multicominc.com/>