

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE UN SISTEMA DE
COMUNICACIÓN SATELITAL EMPLEANDO MODULACIÓN Y
CODIFICACIÓN ADAPTIVA – ACM EN PLATAFORMA O3b**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

PRESENTADA POR

Bach. ANDRADE DELGADO, JULIO CESAR

Asesor: Ing. CUADRADO LERMA, LUÍS

LIMA – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A mis Padres que fueron mi inspiración
Para poder lograr mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

A mi hermano Alejandro por su apoyo
Orientación y ejemplo a seguir.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	2
1.1 Marco Situacional.....	2
1.2 Problema General	3
1.2.1 Problemas específicos	3
1.3 Objetivo general.....	3
1.3.1 Objetivos específicos	3
1.4 Importancia.....	4
1.5 Metodología	4
1.5.1 Diseño de la investigación.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.1.1 Antecedentes Nacionales.....	5
2.1.2 Antecedentes Internacionales.....	7
2.2 Analizaremos el uso de O3b.....	9
2.2.1 Características del enlace satelital de la red O3b	13
2.2.2 Plan de frecuencias y telemetría para O3b	14
2.2.3 Plan de canalización satelital de O3b	15
2.2.4 Visión general de los satélites O3b.....	16
2.2.5 Diferencia de latencias entré satélites O3b y GEO.....	17
2.2.6 Entrega y Conectividad.....	18
2.2.7 El Terminal O3b	18
2.2.8 Segmento Espacial	20
2.2.9 Segmento Terrestre	21
2.2.10 Handover en tecnología O3b.....	22
2.2.11 Cobertura del Haz (beam).....	24
2.2.12 Red de Gateways.....	25
2.3 Modulación y Codificación Adaptiva ACM.....	26

2.3.1	Técnica de Modulación y Codificación Adaptiva	34
2.3.2	Transmisor ACM.....	36
2.3.3	Receptor ACM.....	37
2.4	Estándar de transmisión por Satélite DVB-S2/ACM	38
2.4.1	Incrementando la eficiencia del ancho de banda DVB-S2/ACM	38
2.4.2	Superando la degradación de la lluvia	39
2.4.3	Rendimiento óptimo del enlace Relación C/N.....	39
2.4.4	Rendimiento DVB-S2 para un ancho de banda constante.....	41
2.4.5	Diagrama de bloques del sistema DVB-S2.....	42
2.4.6	Mezclado de capa física (PL).....	42
2.4.7	Codificación FEC (Forward Error Correction).....	43
2.4.8	La Codificación FEC sobre DVB-S2.....	44
2.4.9	Cálculo de la tasa de código FEC.....	44
2.4.10	Eficiencia de modulación del sistema DVB-S2.....	45
2.4.11	Rendimiento de DVB-S2 ante errores	45
2.4.12	Relación E_s/N_0	47
2.5	Óptica de la Investigación	48
2.6	Selección de Variables.....	48
2.6.1	Variable Dependiente.....	48
2.6.2	Variables Independientes.....	48
CAPÍTULO III: DISEÑO DE INGENIERÍA.....		49
3.1	Marco Empírico.....	49
3.2	Instrumentos.....	49
3.2.1	Enlace ascendente.....	49
3.2.2	Enlace descendente.....	50
3.3	Diseño y optimización.....	51
3.3.1	Ganancia de antena.....	51
3.3.2	Ancho de haz media potencia (HPBW).....	52
3.3.3	Cálculo del PIRE.....	55
3.3.4	Cálculo de la atenuación por espacio libre.....	55
3.3.5	Cálculo de la Potencia recibida por el satélite.....	57

3.3.6 Cálculo del PIRE del satélite.....	58
3.3.7 Cálculo de la potencia recibida de la portadora	58
3.3.8 Cálculo del ángulo de media potencia de la antena del terminal	59
3.3.9 Cálculo de la densidad de ruido	60
3.3.10 Cálculo de la Potencia total de ruido térmico.....	60
3.3.11 Cálculo de la figura de mérito del satélite.....	61
3.3.12 Cálculo de portadora a densidad de ruido (C/N ₀) subida	61
3.3.13 Cálculo de la atenuación por lluvia	63
3.3.14 Cálculo de la atenuación de subida y bajada.....	65
3.3.15 Cálculo de (C/N ₀) bajada.....	65
3.3.16 Cálculo de (C/N ₀) bajada lluvia.....	67
3.3.17 Cálculo del tiempo de retardo y latencia.....	68
3.3.18 Tiempo de retardo	68
3.3.19 Esquema de comunicación	70
3.3.20 Cálculo de la latencia	71
3.3.21 Cálculo del ancho de banda	71
CAPÍTULO IV: ASPECTOS ECONÓMICOS.....	76
4.1. Estructura de costos	76
4.2. Costos de inversión de un terminal satelital (Capex).....	76
4.3. Costos operativos de mantenimiento y servicios (Opex)	77
4.4. Sistemas de protección.....	78
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ANEXO 1 Hoja técnica - 1.2M ka-band terminal marítima doble sistema Vsat	84
ANEXO 2 Hoja técnica - Autotracking Antenna System.....	86
ANEXO 3 Hoja técnica - Antena 1.8M ka-band (TSI).....	88
ANEXO 4 Hoja técnica - High Performance MEO/O3b Satellite Terminal	90
ANEXO 5 Hoja técnica - LNB 9000HT-3 Ka PLL TRIPLE BAND.....	92
ANEXO 6 Hoja técnica - 150 and 175 Watt Ka-Band Antenna	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Latencia con tecnologías actuales	2
Figura N° 2: O3b en Perú.....	6
Figura N° 3: Conexión tipo estrella de los satélites O3b	10
Figura N° 4: Separación angular entre O3b y GEO	11
Figura N° 5: Área de cobertura de la constelación de O3b	12
Figura N° 6: Área de cobertura y conectividad en el pacífico O3b.....	12
Figura N° 7: Ubicación de los satélites MEO y GEO.....	14
Figura N° 8: Plan de frecuencias en la banda Ka	15
Figura N° 9: Banda de frecuencias O3b.....	15
Figura N° 10: Cobertura regional de 8 satélites en O3b.....	16
Figura N° 11: Diferencia de latencias entre O3b y GEO	17
Figura N° 12: Población global significativa mal atendida.....	17
Figura N° 13: Terminal estabilizado O3b de banda Ka	18
Figura N° 14: Sistema de antenas de la órbita O3b.....	20
Figura N° 15: Sistema de redes de satélites	21
Figura N° 16: Metodología handover	23
Figura N° 17: Cobertura del Haz O3b	24
Figura N° 18: Modulación ACM.....	27
Figura N° 19: Estado del canal ACM.....	30
Figura N° 20: Modulación adaptiva ACM	32
Figura N° 21: ACM de acuerdo a las características del clima	35
Figura N° 22: Técnicas de modulación adaptativa	36
Figura N° 23: Diagrama simplificado del transmisor	36
Figura N° 24: Diagrama simplificado del receptor	37
Figura N° 25: C/N requerido vs eficiencia espectral. (C/N se refiere a la potencia Promedió)	40
Figura N° 26: C/N requerido versus eficiencia espectral para una ancho de Banda constante $AB = RS \cdot (1+\alpha)$ Sobre un canal AWGN (Demodulación ideal).....	41

Figura N° 27: Diagrama de bloques del sistema DVB-S2	42
Figura N° 28: PL frames Mezclado a nivel de capa física PL.....	43
Figura N° 29: Formato de los datos antes del Entrelazador de bit. (nldpc = 64800 bits para FECFRAME normal y nldpc = 16200 bits para FECFRAME corta)	44
Figura N° 30: Segmento en tierra y sus funcionalidades Uplink	50
Figura N° 31: Segmento en tierra y sus funcionalidades Downlink.....	50
Figura N° 32: Ancho de haz HPBW	52
Figura N° 33: Distancia de la MEO para banda Ka.....	53
Figura N° 34: Distancia de la GEO para banda Ku	54
Figura N° 35: Atenuación por espacio libre en Tx y Rx.....	56
Figura N° 36: Angulo de media potencia de la antena del terminal.....	59
Figura N° 37: Enlace entre el satélite y la estación terrena.....	63
Figura N° 38: Tiempo de retardo t1 (entre el TSI1 y el Gateway)	69
Figura N° 39: Tiempo de retardo t2 (entre el Gateway y el TSI2)	70
Figura N° 40: Esquema de comunicación de los TSI	70
Figura N° 41: Coordenadas referenciales de Miami a Gateway	73
Figura N° 42: Coordenadas referenciales de Isla de Pascua a Gateway.....	73
Figura N° 43: Coordenadas referenciales de Isla Margarita a Gateway	74
Figura N° 44: Coordenadas referenciales de Lurín a Gateway	74
Figura N° 45: Coordenadas referenciales de la Isla de Hawái.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de la órbita O3b en antenas marítimas.....	19
Tabla 2: Frecuencias y anchos de bandas de portadoras TSI	23
Tabla 3: Tasa de transmisión según el esquema de codificación	33
Tabla 4: Eficiencias de modulación del sistema DVB-S2.....	45
Tabla 5: Rendimiento E_s/N_0 para un $PER^4 = 10^{-7}$ a un nivel Casi Libre de Errores (Canal AWGN).....	46
Tabla 6: Enlaces de subida y bajada de las bandas Ka y Ku.....	51
Tabla 7: Atenuación por lluvia para cada TSI.....	64
Tabla 8: Cálculo de (G/T) bajada	66
Tabla 9: Cálculo de (C/N ₀) bajada para Ka	66
Tabla 10: Cálculo de (C/N ₀) bajada para Ku	67
Tabla 11: Cálculo de (C/N ₀) bajada lluvia para Ka	67
Tabla 12: Cálculo de (C/N ₀) bajada lluvia para Ku	68
Tabla 13: Equipamiento por terminal satelital interactivo	76
Tabla 14: Operación y mantenimiento	77
Tabla 15: Servicio	77
Tabla 16: Sistema de protección.....	78

RESUMEN

Los satélites que operan en banda Ka como los O3b ofrecen ventajas significativas sobre los sistemas convencionales de banda Ku. Estas ventajas se reflejan en el ancho de banda de los servicios hacia el usuario, su principal desventaja es la degradación que sufren los enlaces a causa de factores climáticos como la lluvia en zonas tropicales alrededor de la tierra.

Esta tesis se enfocó en temas de gran actualidad científica y tecnológica. El tema es el constituido por la modulación ACM y sistemas satelitales MEO como el caso de O3b. Los aspectos que se mencionaron son la modulación y codificación adaptativa, que son técnicas que nos permiten mejorar las cifras de tasa de error binaria a igualdad de potencia transmitida y de anchura de banda utilizada.

Esta optimización del rendimiento de un sistema de comunicación satelital se enfocó en la utilización de los esquemas de modulación y codificación de los estándares DVB-S2, luego se hizo una descripción de los sistemas de comunicación por satélite en plataforma O3b, y se fundamentó la utilización de la Banda Ka mediante un análisis comparativo con los satélites convencionales, luego se realizó los cálculos usando la banda Ku y Ka para su análisis experimental.

Palabras claves: Modulación y Codificación Adaptativa, O3b, Banda Ka, MEO, GEO DVB-S2, FEC.

ABSTRACT

The satellites that operate in Ka band like O3b offer significant advantages over conventional Ku-band systems, these advantages are reflected in the bandwidth of the services toward the users, their main disadvantage is the degradations that suffer the links due to climatic factors as the rain in tropical areas around the earth.

This thesis has been focused on topics of great scientific and technological relevance. The issue is constituted by the ACM modulation and MEO satellite systems, as the case of O3b. The aspects that were mentioned like adaptive coding and modulation, which are techniques that allow us to improve the binary error rate figures to equality of transmitted power and of width of used band

This performance and optimization of a satellite communication system has been focused in the use of adaptive coding and modulation schemes of the DVB-S2 standards, then a description of the communication systems was made by satellite O3b platform, and the use of Ka band was based by means of a comparative analysis with conventional satellites, then the calculations were made using the Ku and Ka band for their experimental analysis.

Keywords: Adaptive Coding and Modulation, O3b, Ka band, MEO, GEO, DVB-S2
FEC.

INTRODUCCIÓN

En esta tesis hicimos un análisis comparativo entre los satélites O3b de alto rendimiento en banda Ka y los satélites convencionales geoestacionarios actuales en banda Ku para luego analizar las diferencias entre ambas.

También se mostró la teoría básica de las comunicaciones por satélite mediante la descripción de algunos conceptos importantes como O3b, modulación, codificación, DVB-S2, banda Ka, ecuaciones generales que sirvieron de base para los cálculos de optimización del rendimiento de un sistema de comunicación satelital.

En el capítulo I, se analizó los problemas y objetivos tanto generales como específicos para luego enfocarnos en el estudio de la parte teórica como lo hicimos en el capítulo II, mencionando la teoría base para el desarrollo de esta tesis como son la modulación y codificación adaptiva en plataformas de satélites O3b, así también se analizó el estándar DVB-S2 y la órbita MEO lugar donde se desplazan los satélites O3b.

Como parte de diseño de ingeniería en el capítulo III, se mostró los cálculos matemáticos, comparando los satélites en órbita GEO con respecto a los satélites en órbita MEO.

Luego se propuso en el capítulo IV, los equipos y costos de los mismos para la optimización del rendimiento de un sistema de comunicación satelital el cual se analizó en esta tesis.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Marco Situacional

Los sistemas clásicos de comunicaciones por satélite empleando la órbita geoestacionaria tienen muchas limitaciones que dificultan una óptima comunicación de datos para empresas que cada vez requieren mayor velocidad en un menor ancho de banda. Los actuales sistemas que emplean el estándar de transmisión DVB-S2 con la modulación QPSK, generan mucha latencia y no buscan que adaptarse al medio de transmisión por lo que el canal contratado no puede usarse al máximo.

La figura 1, muestra los problemas de velocidad de datos muy variable así como la latencia de una empresa que realiza transmisión de datos entre varias islas y la ciudad de Miami.

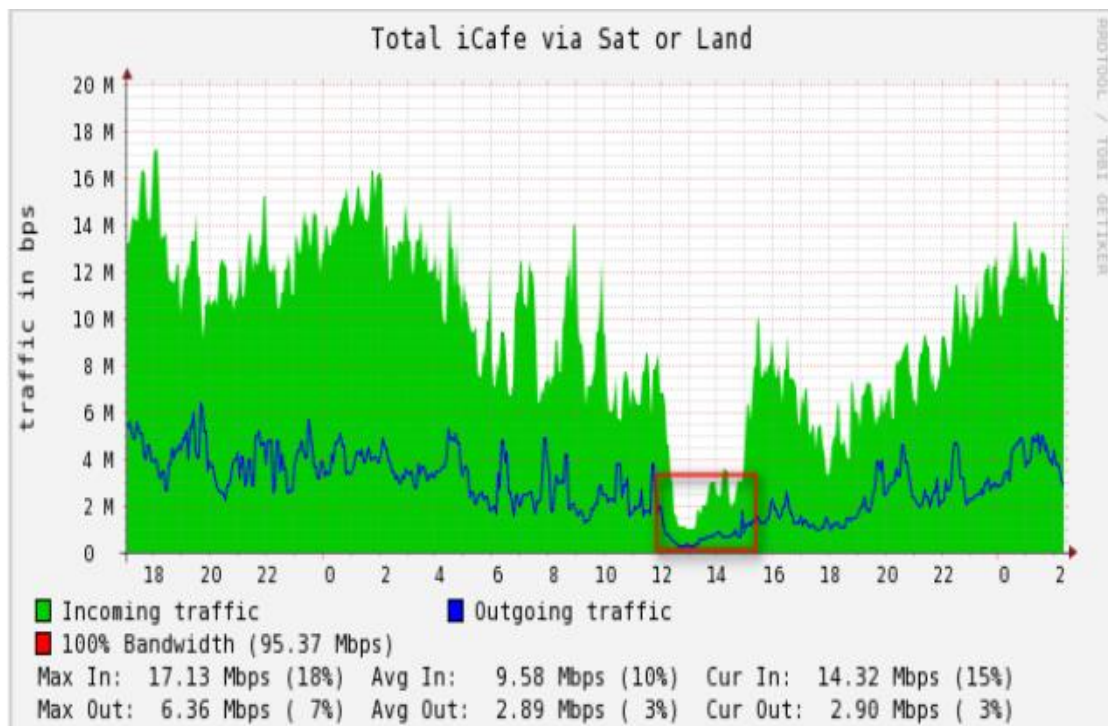


Figura N° 1: Latencia con tecnologías actuales
Fuente: Elaboración Propia

1.2 Problema General

¿La problemática de una amplia red de comunicaciones por satélite, es la respuesta inmediata y con alta eficiencia, La dificultad actual es la elevada latencia para aplicaciones de transporte de voz y la variación permanente de velocidad de transmisión dentro de rangos muy grandes lo que lleva a pensar en un cambio que puede ser: de tecnología, del medio o una combinación de ambos?

1.2.1 Problemas específicos

- a. ¿Por ello nos preguntamos qué tipo de modulación se adapta al medio sin mucha probabilidad de recibir bits errados?
- b. ¿Cómo se puede optimizar un sistema de comunicaciones basado en satélite el cual debe operar entre puntos muy distantes los mismos que no tienen posibilidad de enlazarse por medios terrestres?
- c. ¿Qué hace que los sistemas de comunicación por satélite tengan dificultades de variación en la velocidad de transferencia de información y adicionalmente presenten mucha latencia?

1.3 Objetivo general

- Investigar y analizar la tecnología actual que se emplea en una red de comunicaciones por satélite y proponer una mejora tecnológica que minimice la latencia y permita transferencia de información a velocidades más altas con mayor eficiencia.

1.3.1 Objetivos específicos

- a. Analizar la aplicación de la Modulación y Codificación Adaptiva – ACM.
- b. Analizar la adopción de la plataforma O3b
- c. Proponer un sistema de comunicaciones óptimo en velocidad de transmisión con mínima latencia.

1.4 Importancia

En una red de comunicaciones donde la única opción es emplear plataformas satelitales, es necesario buscar que la transferencia de información se realice a la máxima velocidad posible dentro del ancho de banda contratado, así mismo, la latencia debe ser minimizada tal que posibilite una fluida conversación.

Se hace necesario entonces investigar sobre la adopción de nuevas tecnologías que permitan satisfacer a los clientes que son cada vez más exigentes con la eficiencia de los sistemas que se contratan. El empleo de técnicas de modulación avanzada como la ACM unida a estándares de transmisión como DVB-S2 y el empleo de plataforma de mediana órbita como es O3b, parece ser la opción más adecuada desde el punto de vista de ingeniería.

1.5 Metodología

Utilizaremos la metodología científica, descriptiva, experimental y transversal.

1.5.1 Diseño de la investigación

Se analizaron referencias bibliográficas sobre sistemas de comunicación por satélite en órbita geoestacionaria GEO y MEO en las diferentes bandas incluyendo la banda Ka.

Se utilizó amplia información sobre el desarrollo de las nuevas plataformas satelitales como la O3b y el empleo de técnicas avanzadas de modulación adaptiva al medio.

La selección de las variables se realizó en función de la necesidad de analizar y evaluar las alternativas existentes.

El desarrollo de esta tesis comprende realizar un análisis del problema encontrado, investigar las causas teniendo como fin la optimización de un sistema de comunicaciones por satélite.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes Nacionales

Merino Acuña H.W 2014. “Análisis de viabilidad de los HTS de banda Ka para la prestación de servicios de banda ancha satelital en el Perú mediante la aplicación de modelos matemáticos en el desarrollo de cálculos de enlace” Tesis para optar el Grado Académico de Magíster en Ingeniería de las Telecomunicaciones. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Resumen: Su investigación se basa en la utilización de los esquemas de modulación y codificación de los estándares DVB-S2 y DVB-RCS2. Hizo una descripción de los sistemas de comunicación por satélite, y fundamentó la utilización de la Banda Ka mediante un análisis comparativo de los HTS con los satélites convencionales.

O3b en el Perú (The Other 3 Billion)

Satélites de “O3b” con pisada en Perú y América Latina.

<http://gadgerss.com/2013/12/21/satelites-de-o3b-con-pisada-en-peru/>

Publicación Lima – Perú /Diciembre 21, 2013 online.

Esta publicación da a conocer que O3b es un proyecto que busca ofrecer una red de telecomunicaciones para una porción significativa del planeta conocida como “Los otros 3 billones“. Publicaron en la web la figura 2.

El Proyecto es financiado por SES, HSBC, Liberty Global, Development Bank of South África, Sofina, Satya Capital, Google, Northbridge Venture Partners and Allen & Company.

Actualmente O3b implementará una constelación satelital en la órbita MEO (Orbita Media Terrestre), específicamente a 8,062 km de altura en la órbita ecuatorial.

La figura 2, muestra parte de las instalaciones de O3b en Perú.



Figura N° 2: O3b en Perú

Fuente: <http://gadgerss.com/2013/12/21/satelites-de-o3b-con-pisada-en-peru/>

¿En qué se diferencia la red Satelital de O3b con otros sistemas de comunicaciones satelitales geoestacionarios?

- La órbita: Mientras que los satélites convencionales (geoestacionarios) están ubicados a 37,786 Km de altura los satélites de O3b estarán ubicados a 8062 Km.
- Latencia (retardo): Dada la menor altura de los satélites de O3b, la latencia disminuye considerablemente (se reduce a más de la cuarta parte) frente a otros sistemas satelitales.
- Alta capacidad: Ofrece capacidades de hasta 1.2 Gbps.
- Banda de Operación: Es el segundo sistema satelital en operar en la Banda Ka en América Latina.
- Cobertura: Cobertura Global en el rango de 45° latitud.

2.1.2 Antecedentes Internacionales

Aguayo Torres C. (2001) “Modulación Multiportadora adaptativa para canales selectivos en frecuencia con desvanecimientos”. Tesis Doctoral Universidad de Málaga. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación.

Resumen: En esta tesis se exploran las posibilidades del empleo de la Modulación Multiportadora Adaptativa (OFDM adaptativa, AOFDM, Adaptive OFDM) para canales selectivos en frecuencia con desvanecimientos

Clemente Medina M.C (2013) “Modulación Adaptativa y diversidad en canales de comunicaciones acústicas subacuáticas”. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga, España. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicaciones.

Resume: En esta tesis se propone la transmisión digital mediante Modulación Adaptativa y Codificación en canales acústicos subacuáticos, Esta estrategia adaptativa hace posible transmitir eficiencias espectrales altas bajo condiciones favorables del canal, y responde a la degradación del canal a través de una reducción leve de la eficiencia espectral, manteniendo la tasa de error instantánea por debajo de algún valor objetivo predefinido. Se asume que el proceso de adaptación es perfecto e instantáneo, por lo que la información del estado del canal estimado es enviada al transmisor mediante un canal de retorno sin errores ni retardos.

Guerra Mina D.F (2007) “Desarrollo de un Programa que permita calcular los parámetros de transmisión forward en enlaces satelitales utilizando el estándar DVB-S2”. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Politécnica Nacional – Quito Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Resumen: El proyecto tiene como objetivo desarrollar un programa que permita calcular los parámetros de transmisión forward en enlaces satelitales utilizando el estándar DVB-S2 (Digital Video Broadcasting by Satellite 2).

Valenzuela Quintanilla J.P (2010) “Migración de plataforma satelital DVB-S a DVB-S2 para el servicio DTH”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Eléctrica.

Resumen: El análisis de la norma DVB-S2 se realiza a través de las alternativas técnicas que establece el estándar para la transmisión de señales de televisión en calidad estándar (SDTV) y alta definición (HDTV), incorporando también la opción de la operación del servicio en modo compatible con la actual tecnología. La evaluación económica se efectúa mediante el estudio de escenarios que permiten generar nuevas propuestas de valor para el operador DTH.

Vinueza Escobar, N.F. (2015) “Descripción de la Red Satelital O3b y Aproximación del Comportamiento para uso de un Terminal Genérico en Poblaciones Rurales del Ecuador”. Trabajo de Fin de Máster. Ecuador. Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación.

Resumen: Este trabajo describe el funcionamiento de la plataforma O3b haciendo ver su alto rendimiento y bajo retardo en comparación con plataformas en órbita geostacionaria. Su estudio no incluye recomendaciones sobre equipamiento ni dimensionamiento específico de enlaces.

2.2 Analizaremos el uso de O3b

Vinueza Escobar (2015). En su trabajo de fin de Master presenta a la red O3b como una arquitectura tipo estrella, con un elemento central denominado Gateway (o Hub), el cual hace de intermediario para la comunicación entre los Terminales Satelitales Interactivos (TSI) para acceso.

En este tipo de arquitectura en estrella, se requiere un doble salto a través del satélite (SAT) para comunicarse entre TSIs, siendo el RTT (Round Trip Time) el doble que en el caso de un sistema con arquitectura tipo malla. Sin embargo, el tener un Gateway (GW) como elemento central que gestiona la red tiene la importante ventaja que permite reducir el costo y complejidad de los TSIs para los usuarios.

La comunicación en ambos sentidos, tanto hacia el ST (Forward) como de retorno hacia el Gateway (Return), es cursada cíclicamente a través de cada uno de los satélites en permanente movimiento pertenecientes a la constelación, permitiendo una comunicación interactiva sin requerir el uso de infraestructura de comunicación terrestre para el canal de retorno. (p.22)

La figura 3, muestra la conexión tipo estrella de los satélites O3b, conectados mediante un Gateway que es el intermediario para la comunicación entre los Terminales Satelitales Interactivos (TSI).

El conjunto de Gateways se interconectan mediante fibra óptica hacia el núcleo de grandes infraestructuras de comunicación y al backbone de Internet a través de importantes POPs (Points of Presence).

Estos Gateways se caracterizan por tener tres antenas de 7.3 m de diámetro, dos Principales para mantener la comunicación durante el procesos de seguimiento a Los satélites y la tercera sirven como respaldo.

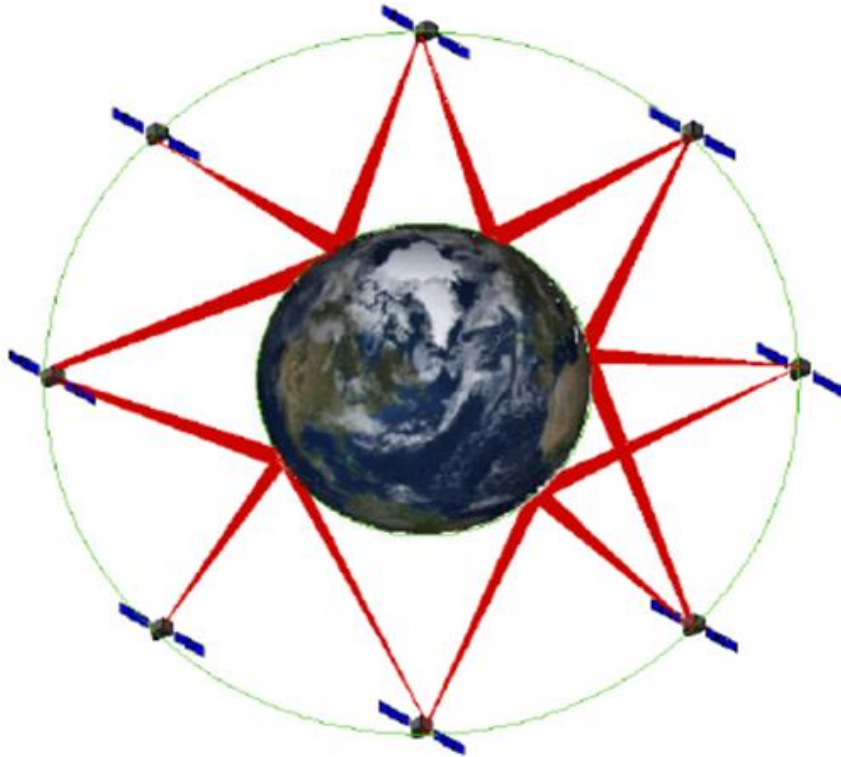


Figura N° 3: Conexión tipo estrella de los satélites O3b
Fuente: http://www.marinesatellitesystems.com/index.php?page_id=1075

Vinueza Escobar (2015). En su trabajo indica que O3b ha proyectado su cobertura geográfica para cubrir a sus potenciales clientes que se encuentran localizados en la superficie terrestre entre los 45 grados de latitud norte y 45 grados de latitud sur. Sin embargo, puede alcanzar los +/- 62 grados de latitud con menores condiciones de calidad. (p.23)

Existe potencial de interferencia con la órbita GEO solo en un rango estrecho de latitudes ecuatoriales dentro de aproximadamente 5° del ecuador así como se muestra en la figura 4. También se observa la separación angular entre los satélites O3b y GEO y la región Ecuatorial dónde el ángulo de separación es limitado.

La figura 4, muestra la separación angular entre los satélites O3b y GEO y la región Ecuatorial.

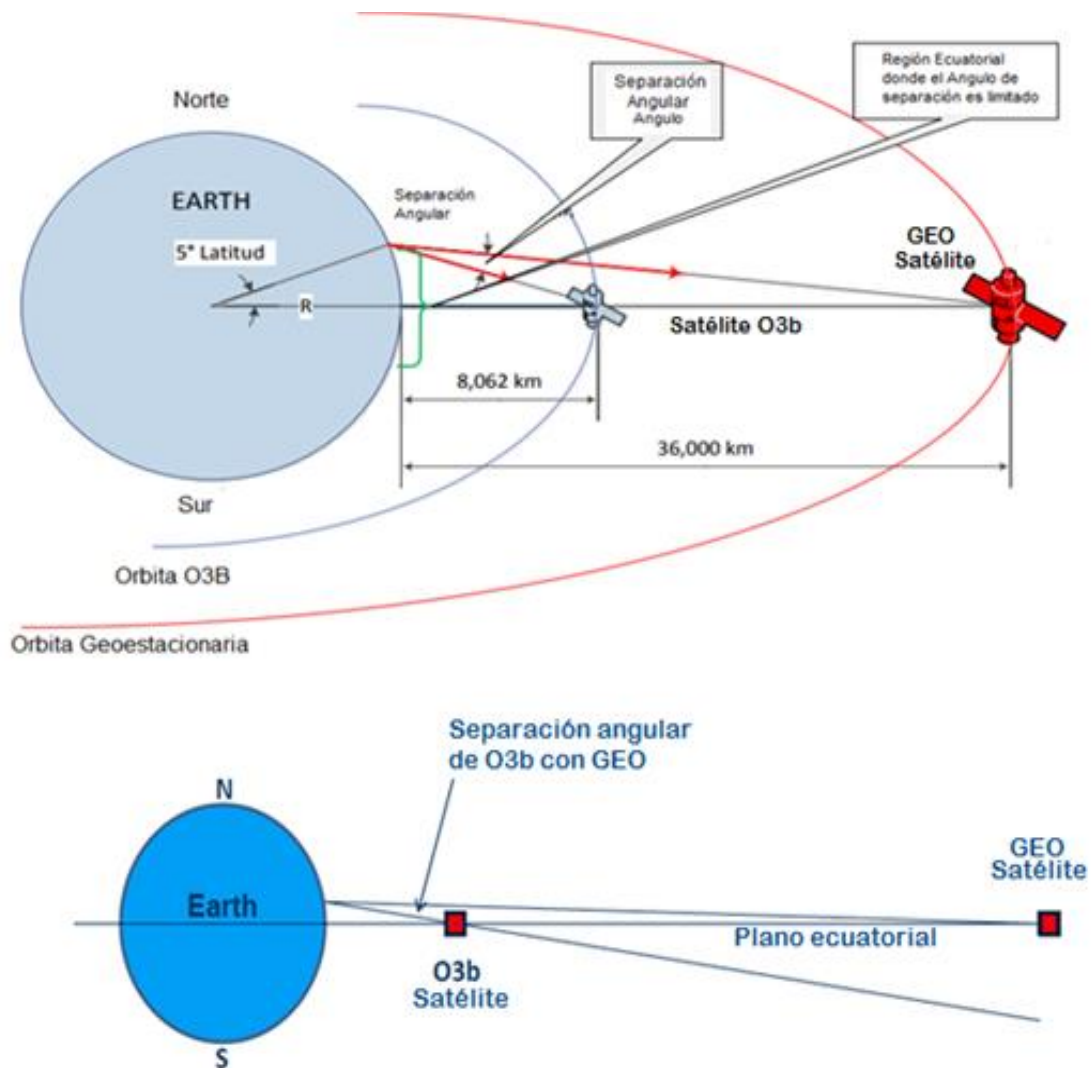


Figura N° 4: Separación angular entre O3b y GEO

Fuente: <https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/cyprus-2014/Documents/Presentations/Hazem%20Moakkit%20-%20O3b.pdf>

Los principales lugares a los cuales orienta el servicio O3b son. América Latina, África, el Medio Este, Asia y el Pacífico, y los Gateways se ubican instalados en los países marcados con puntos celestes como se ilustra en la Figura 5. En el Perú se encuentra ubicado en las instalaciones de Telefónica en Lurín.

La figura 5, muestra la ubicación de los Gateways de O3b en el mundo.



Figura N° 5: Área de cobertura de la constelación de O3b

Fuente: https://www.o3bnetworks.com/wp-content/uploads/2015/02/O3b-Technology-Overview-A4_10SEP14.pdf

La figura 6, muestra la conectividad de O3b en el pacifico

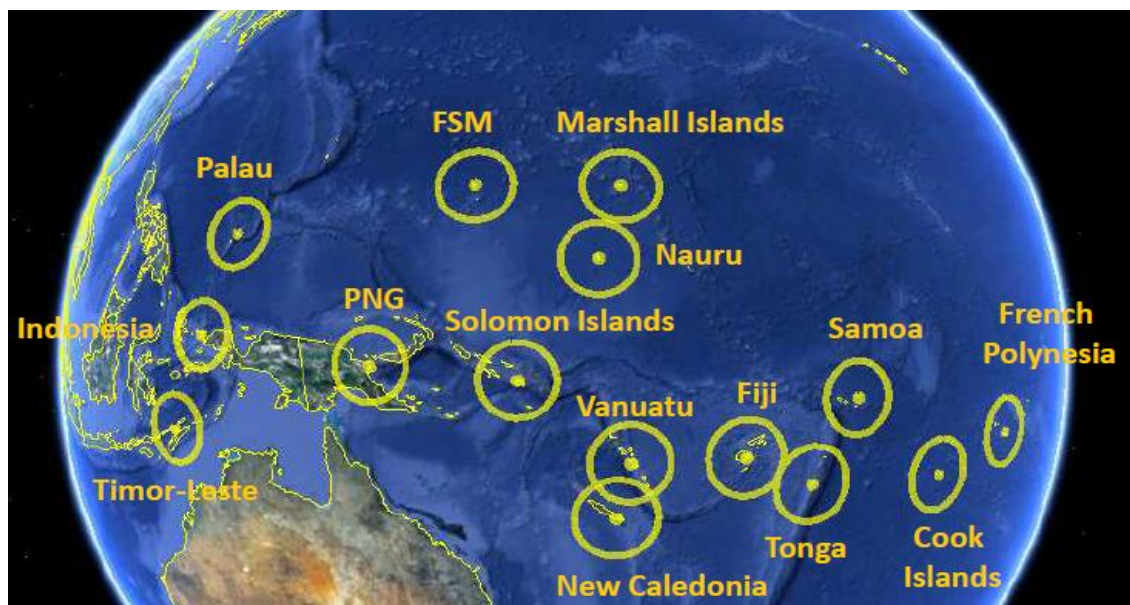


Figura N° 6: Área de cobertura y conectividad en el pacifico O3b

Fuente: <http://www.businessadvantagepng.com/medium-orbit-satellites-bring-low-cost-high-Performance-internet-to-papua-new-guinea-and-the-pacific>

2.2.1 Características del enlace satelital de la red O3b

Vinueza Escobar (2015). En su trabajo de fin de master hace un resumen de las características relevantes de la red O3b.

Constelación:

- 8 Satélites y pueden aumentar dependiendo de la demanda del mercado
- Espacio entre satélites 45°
- Altura del satélite O3b - 8062 Km con respecto a la tierra.
- Inclinación de la órbita: $< 0.1^\circ$
- Período alrededor de la tierra: de 360°

Haz:

- Banda Ka
- Enlace descendente: 17.8 – 18.6 GHz/18.8 – 19.3 GHz
- Enlace ascendente: 27.6 – 28.4 GHz/18.6 – 29.1 GHz
- Cobertura óptima entre latitudes 45° norte y 45° sur
- Velocidad Superior a 1.6 Gbps por haz
- 84 Gbps disponible con los 8 satélites
- Ancho de banda del transpondedor es de 216 MHz y cada haz tiene 2x216 MHz
- Cobertura del haz: 700 Km de diámetro (hacia el Cliente)
- Latencia menor a 150ms en la órbita O3b
- Hasta 1,2 Gbps por haz (600 Mbps x 2)

Gateway:

- 9 Gateways situados en diferentes partes del mundo
- Habilitan conexiones flexibles, fiables y seguras
- Modo handover conocido como (make before brake) desde el Gateway Hasta el siguiente TSI. (p.24)

En la constelación O3b, cada satélite tiene 20 transpondedores de banda ancha, 10 de los cuales por lo general se utilizan (en la configuración para operación normal) para los enlaces de acceso hacia las estaciones terrenas de los clientes y 10 para los enlaces hacia los Gateway.

La figura 7, muestra la ubicación de los satélites MEO 8,062 mil Km de distancia respecto de la tierra en comparación con los satélites GEO, es por esta razón que el nivel de latencia es más bajo en comparación con otro sistema de satélites como GEO los cuales se encuentran alejados de la tierra a 36,000 km.

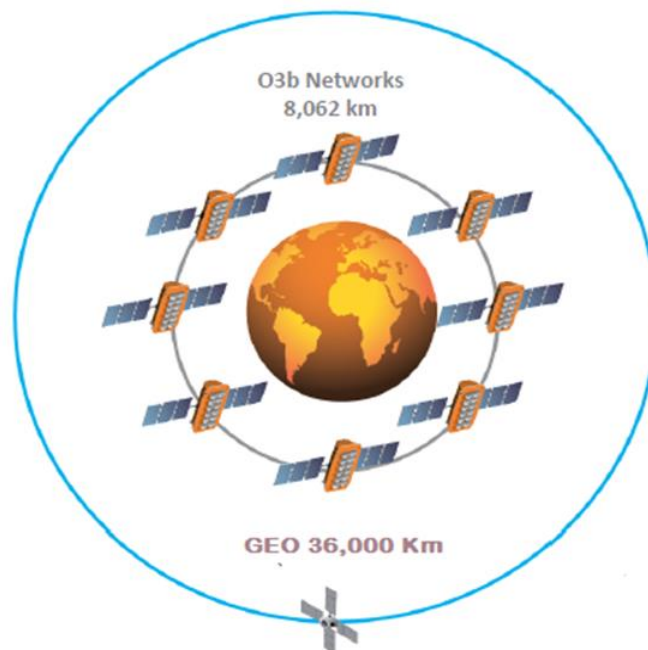


Figura N° 7: Ubicación de los satélites MEO y GEO
Fuente: http://www.kaconf.org/2013/_doc/colloquium/5_David_Burr.pdf

2.2.2 Plan de frecuencias y telemetría para O3b

Vinueza Escobar 2015. En su tesis no muestra planes de canalización ni anchos de banda de los satélites, muestra en la figura 8, los enlaces de subida (Uplink) y bajada (Downlink) tomado de la fuente indicada para la constelación de satélites O3b, en banda Ka así como las frecuencias utilizadas para telemetría y bandas de control para los terminales de usuario que tienen asignado para: Downlink 19.7 a 20.2 GHz y Uplink 29.5 a 30.0 GHz. (p.29)

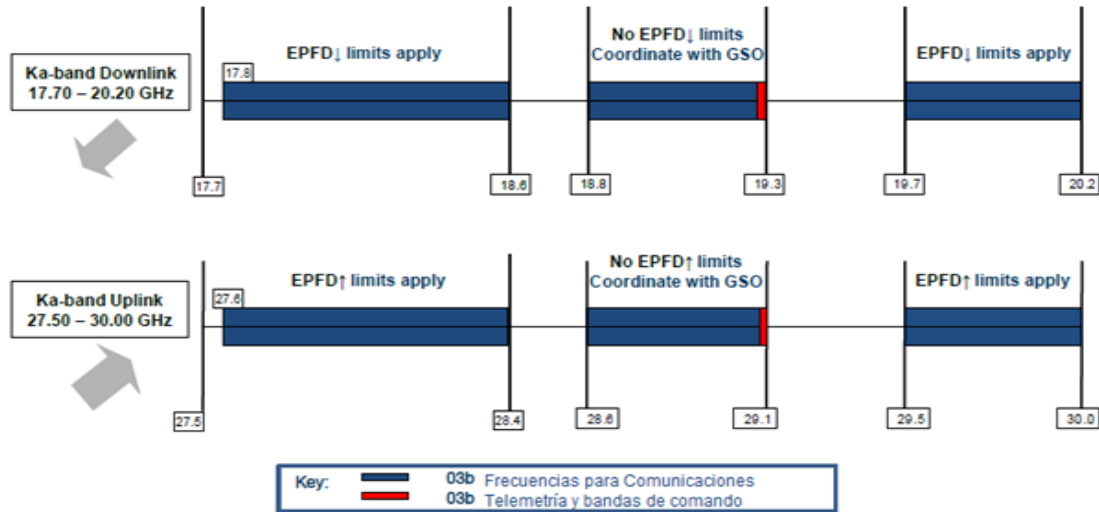


Figura N° 8: Plan de frecuencias en la banda Ka

Fuente: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/md/12/iturka.band/c/R12-ITURKA.BAND-C-0010!!PDF-E.pdf

2.2.3 Plan de canalización satelital de O3b

La figura 9, muestra el plan de canalización satelital de O3b para la banda Ka. Los anchos de banda y las frecuencias usadas para diferentes anchos de banda tanto en Uplink como en Downlink.

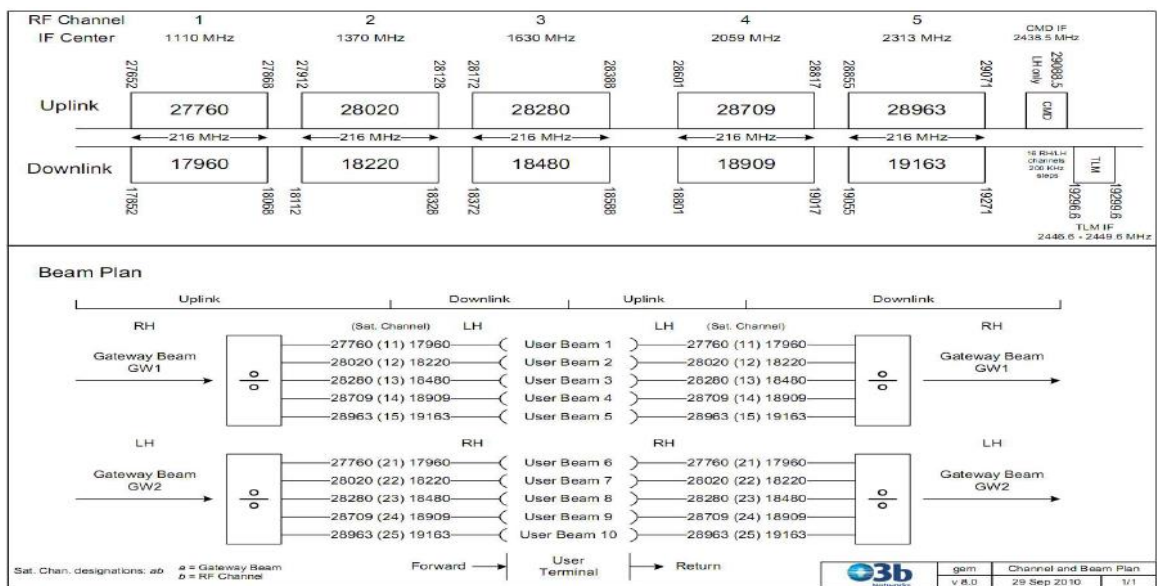


Figura N° 9: Banda de frecuencias O3b

Fuente: <https://books.google.com.pe/books?id=bqSXBgAAQBAJ&pg=PA155&lpg=PA15&dq=o3b+channel+and+beam+plan&source=bl&ots=h0o5sU12XB&sig=EbNPU3UR5URrJO4o1A4C5p3q5YU&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwi4n-rfqpfYAhUnYt8KHR-wAJ8Q6AEIRDAHo3b%20channel%20and%20beam%20plan&f=false>

2.2.4 Visión general de los satélites O3b

Cada satélite tiene 12 antenas orientables

- 10 antenas utilizadas para beams de clientes
- 2 antenas utilizadas para la conectividad de Gateway
- Cada haz se puede dirigir independientemente a cualquier ubicación dentro de +/- 45° latitud
- Los beams se pueden apilar en el mismo lugar para dar capacidad adicional
- Se usa polarización circular RHCP y LHCP

Cada haz de Gateway está conectado a cinco haces de clientes

- Un solo satélite admite dos grupos de esta configuración 1: 5. Ver figura 10.
- Los haces de bucle invertido también se pueden configurar para dar conectividad localizada hacia arriba y hacia abajo en el mismo haz

Cada haz de cliente está configurado con

- Un transpondedor de banda Ka de 216 MHz en la dirección de subida
- Un transpondedor de banda Ka de 216 MHz en la dirección de retorno

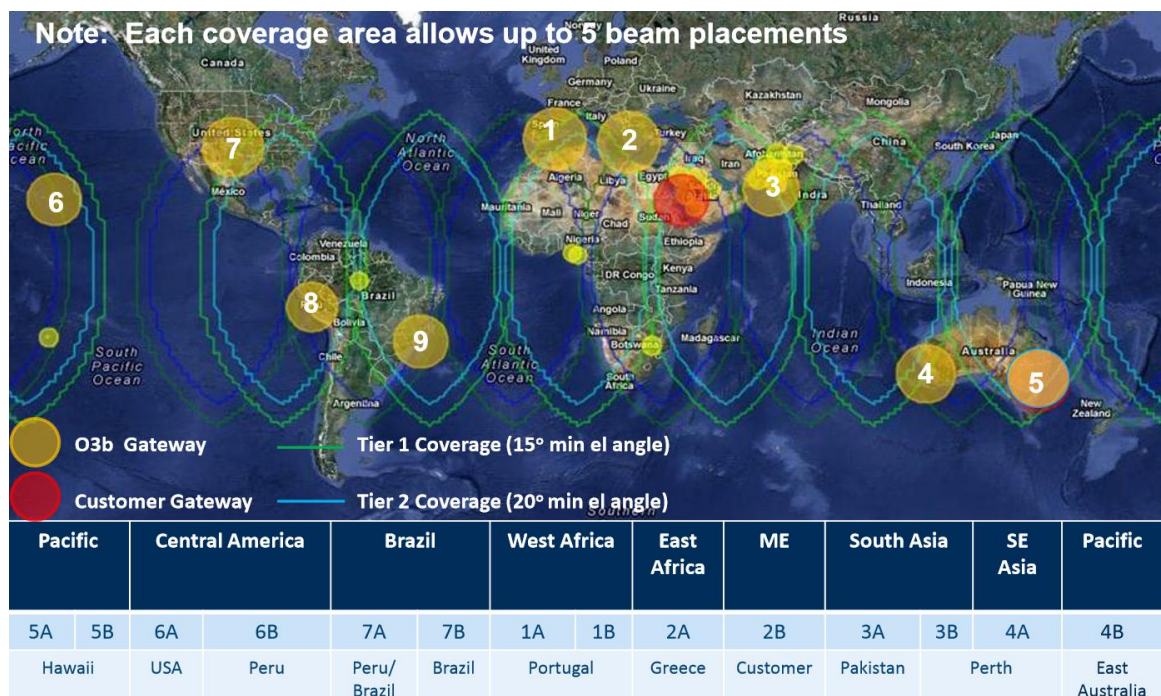


Figura N° 10: Cobertura regional de 8 satélites en O3b
Fuente: http://www.kaconf.org/2013/_doc/colloquium/5_David_Burr.pdf

2.2.5 Diferencia de latencias entre satélites O3b y GEO

La figura 11, nos muestra la diferencia de latencia entre el uso de satélites O3b en órbita MEO y satélites en órbita GEO.

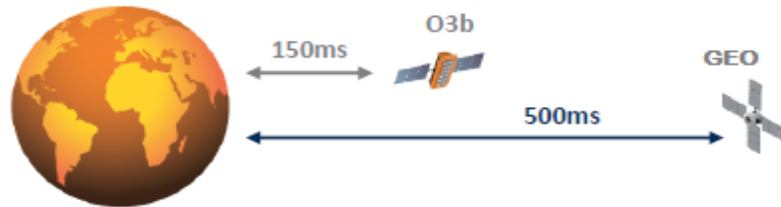


Figura N° 11: Diferencia de latencias entre O3b y GEO
Fuente: http://www.kaconf.org/2013/_doc/colloquium/5_David_Burr.pdf

El sistema de satélites de O3b está diseñado para llevar banda ancha de fibra a Las "otras 3 mil millones" de personas en el mundo que no tienen acceso adecuado a la red troncal de Internet así como se muestra en la figura 12.

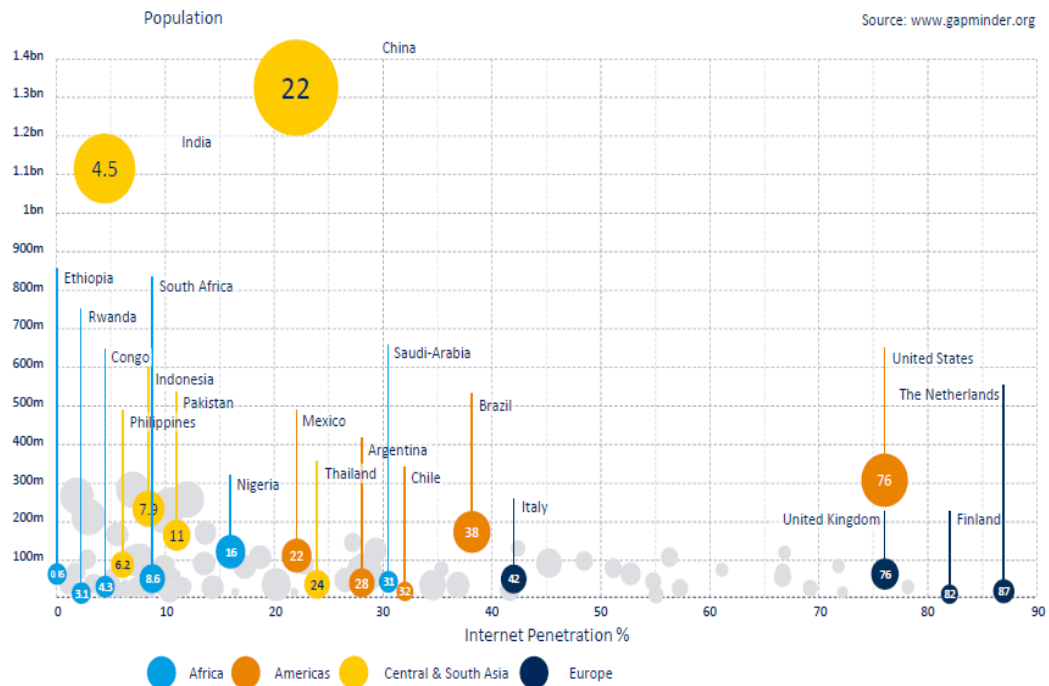


Figura N° 12: Población global significativa mal atendida
Fuente: https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/cyprus-2014/Documents/_Presentations/Hazem%20Moakkit%20-%20O3b.pdf

2.2.6 Entrega y Conectividad

Stojče Dimov Ilčev (eBook). En su libro muestra en la figura 13, al terminal estabilizado O3b en banda Ka con antena de seguimiento estabilizadas por barco de 1,0 o 1.8 M, (Ver anexo 3) y módem de alta velocidad ViaSat, (Ver anexo 4) en el que el término IFL es enlace de interfaz y Xcvr en el Transceptor. (p. 572)

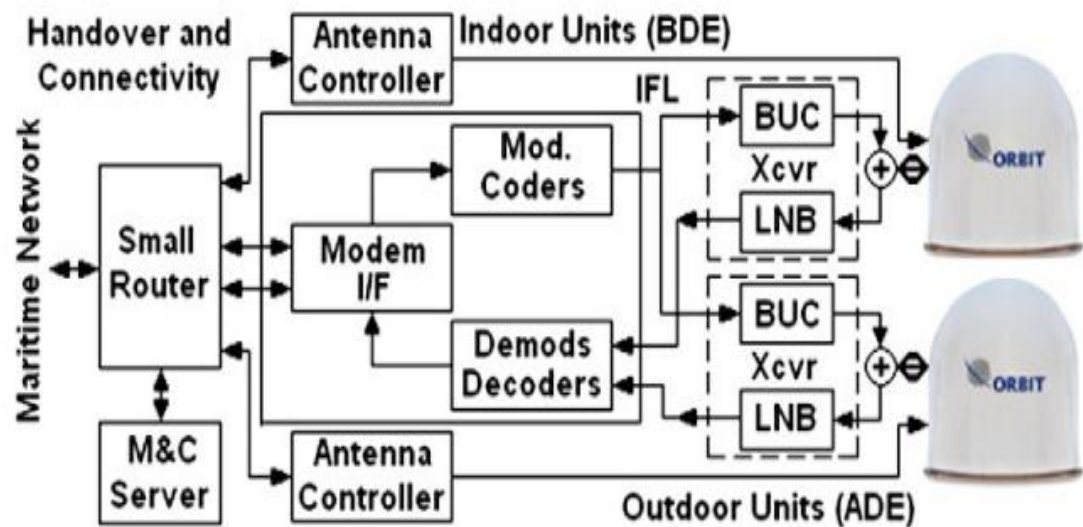


Figura N° 13: Terminal estabilizado O3b de banda Ka

Fuente: https://books.google.com.pe/books?id=9lYgDQAAQBAJ&pg=PA572&lpg=PA572&dq=SES+stabilized+Ka+band+terminal&source=bl&ots=EboNTd4LZV&sig=v6bKmwA4HXm6MqQhTf9rxYqf_9Q&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjbr4CfupfYAhWLSyYKHdGB18Q6AEILDAB#v=onepage&q=SES%20stabilized%20Ka%20band%20terminal&f=false

2.2.7 El Terminal O3B

Stojče Dimov Ilčev (eBook). Muestra como O3b desplegó dos tipos de antenas de satélite embarcadas como se muestra en la figura 14, OrSat400 (izquierda) y OrSat300 (derecha), también se pueden ver las características de estas antenas en el (anexo 1).

Ambas antenas son producto de Orbit Company, cuyas características se describen en la tabla 1. (p.572).

Tabla 1: Características de la órbita O3b en antenas marítimas:

System	Size (m)	Data rates (Mbps)	Optional BUC's
OrSat TM ₄₀₀	1.2	5–100	5 W/10 W/20 W
OrBand TM ₃₀₀	2.2	100–300	10 W/20 W/40 W

Fuente: https://books.google.com.pe/books?id=9IYgDQAAQBAJ&pg=PA572&lpg=PA572&dq=SES+stabilized+Ka+band+terminal&source=bl&ots=EboNTd4LZV&sig=v6bKmwA4HXm6MqQhTf9rxYqf_9Q&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjbr4CfupfYAhWLSyYKHdGB18Q6AEILDAB#v=onepage&q=SES%20stabilized%20Ka%20band%20terminal&f=false

El terminal satelital O3b está diseñado para el traspaso sin fisuras al final del paso y en caso de bloqueo, de esta forma se incluye la tercera antena satélite de red para la redundancia (para OrBand300).

Por lo que un selector de sistema dual dedicado proporciona un intercambio instantáneo en caliente con un tercer sistema redundante.

El sistema de satélites O3b - MEO para aplicaciones marítimas ofrece un seguimiento en tiempo real de la nave a través de O3b portal del cliente.

El haz del satélite O3b seguirán las vías y ruta normal del buque, donde el operador de cruceros proporciona el rumbo normal del buque a O3b.

O3b mantendrá el buque dentro del centro del haz y el buque proporciona actualizaciones de latitud y longitud en intervalos de 2 horas vía canal dentro o fuera de banda.

El terminal de satélite O3b para aplicaciones marítimas refleja las velocidades de transmisión de banda de alta capacidad de hasta 500 Mb/s, atiende a más usuarios a velocidades de datos sustancialmente más altas y procesa la información de los buques a los centros de datos en tierra. La latencia de ida y vuelta es entre 120 Y 150 ms, que depende de la latitud y las condiciones ambientales, como se muestra en la tabla 1. (p. 576).



Figura N° 14: Sistema de antenas de la órbita O3b

Fuente: <http://www.o3bnetworks.com/wp-content/uploads/2015/02/O3b-Maritime-2.2m-Orbit-DatasheetT-TRx-7-500.p>

2.2.8 Segmento Espacial

Vinueza Escobar, N.F. (2015). En su trabajo de fin de master describe el segmento espacial como una de las partes más importantes para caracterizar el tipo de red satelital constituida por la carga útil y la plataforma. La carga útil está compuesta fundamentalmente de las antenas y el equipamiento electrónico de los satélites para soportar la transmisión de la señal, mientras que la plataforma consiste de todos los subsistemas que permiten operar a la carga útil.

En la constelación O3b, cada satélite tiene 20 transpondedores de banda ancha, 10 de los cuales por lo general se utilizan (en la configuración para operación normal) para los enlaces de acceso hacia las estaciones terrenas de los clientes y 10 para los enlaces hacia los Gateways. (p.24).

Las Demandas de velocidad para el uso de Internet crecen día a día. Junto con la falta de disponibilidad de acceso de banda ancha en lugares remotos o poco accesibles para los proveedores esto ha impulsado la aparición de proveedores de servicios de satélite con nuevas propuestas de sistemas satelitales de alto rendimiento y baja demora. En oposición a los sistemas GEO tradicionales, como el sistema de satélites MEO llamado O3b.

Se analizó la red satelital O3b, con el objetivo de analizar su utilización como parte de una solución de comunicación para acceso a Internet en lugares distantes mediante el uso de un terminal satelital interactivo genérico.

O3b despliega alrededor de la tierra el sistema de satélites en estrella, conocidos como redes satelitales de baja latencia y alto rendimiento para su mejor entrega de información como se observa en la figura 15.

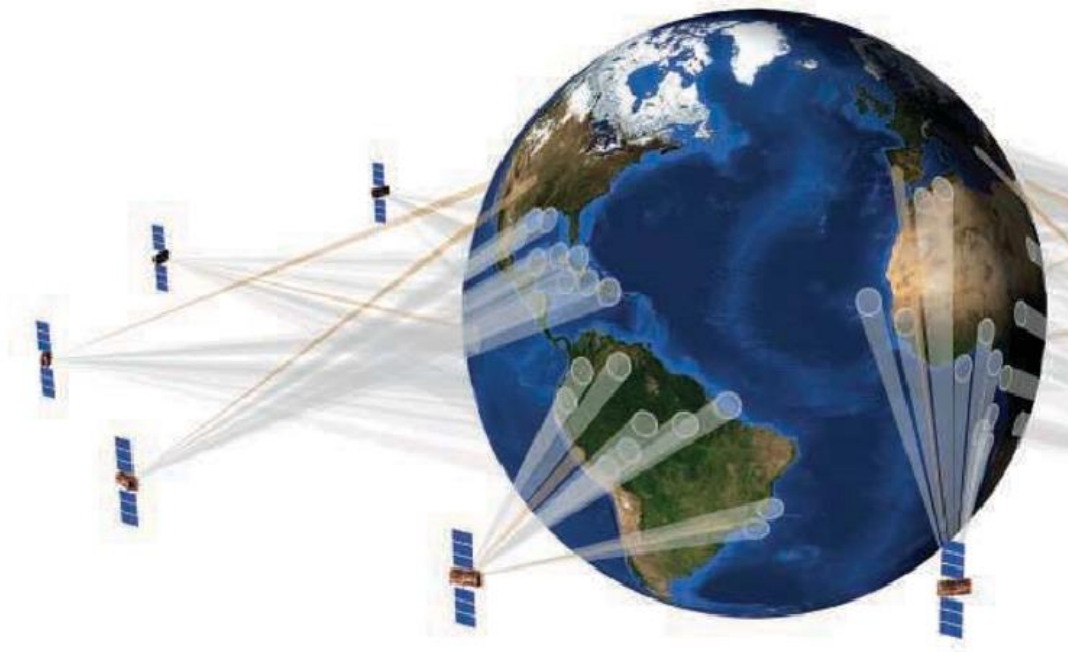


Figura N° 15: Sistema de redes de satélites

Fuente: <https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/cyprus-2014/Documents/Presentations/Hazem%20Moakkit%20-%20O3b.pdf>

2.2.9 Segmento Terrestre

Vinueza Escobar, N.F. (2015) en su trabajo de fin de master concluye que O3b al ser una constelación de satélites con transpondedores transparentes tipo “bent pipe” y sin enlaces inter-satelitales, requiere el uso de dispositivos más inteligentes en el segmento terrestre que tomen a cargo las funciones para mantener la comunicación continua a nivel de usuario. (p.25).

2.2.10 Handover en tecnología O3b

Vinueza Escobar, N.F. (2015). En su trabajo de fin de master afirma que Este proceso de entrega sucede en un intervalo específico, consiste en pasar desde un satélite hacia el siguiente más cercano en la constelación el rol como elemento activo en la comunicación mientras se encuentran en movimiento y se realiza de un modo transparente al usuario.

En el sistema O3b, dado el período orbital de sus satélites, para mantener una comunicación permanente hacia los TSI, se requiere hacer un handover cíclico hacia el próximo satélite adyacente en la constelación.

El handover se realiza con una frecuencia de 45 minutos de acuerdo al periodo orbital. Tiene por objetivo que el nuevo satélite tome control de la comunicación para una nueva área de servicio, teniendo un intervalo de duración entre 1 a 2 minutos y se produce cuando el satélite (n) que mantiene la comunicación activa se aleja del Gateway o TSI mientras el próximo satélite (n+1) en la órbita ecuatorial comienza a estar a la vista del Gateway del sistema O3b en una región de servicio determinada. (p.29).

Como se muestra en la figura 16, durante el handover las unidades de control en el Gateway y en los Terminales de Cliente conmutan hacia la otra antena que está apuntando al satélite (n+1), durante este intervalo ambos satélites están activos para la comunicación, recibiendo la información enviada simultáneamente por las dos antenas desde el terminal satelital.

Las estaciones satelitales no transmiten simultáneamente todo el tiempo, solo transmite una estación a la vez, la otra estación está en espera. Las dos estaciones satelitales (antenas) se alternan en la función de transmitir.

Finalmente, una vez se ha estabilizado la comunicación con el satélite (n+1), se inhabilita la comunicación con el satélite n, con lo que a partir de este momento tanto el Gateway como el terminal de Cliente se encuentran transmitiendo y recibiendo solo con el satélite (n+1).

Cada estación satelital transmitirá con 1 portadora, las frecuencias y anchos de banda usados por ambas estaciones no son los mismos así como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2: Frecuencias y anchos de bandas de portadoras TSI

Portadora	UP LINK (MHz)			DOWN LINK (MHz)		
	Frecuencia de TX	Rango de Frecuencia	Ancho de Banda	Frecuencia de RX	Rango de Frecuencia	Ancho de Banda
1	27760	27755 - 27765	10	17960	17955 – 17965	10

Fuente: Elaboración propia

Para las estaciones satelitales se configuran con modulación QPSK, FEC $\frac{1}{2}$ y ancho de banda de 10 MHz. Según la tabla 5 del estándar ETSI EN 302 307 V1.2.1 (2009-08) la eficiencia espectral para QPSK $\frac{1}{2}$ es 0.988858 símbolos /Hz, por lo cual la capacidad de cada portadora es de 9.88858 Mbps.

La flexibilidad del haz puntual es una característica del sistema O3b en la figura 16 se muestra el sistema handover de O3b.

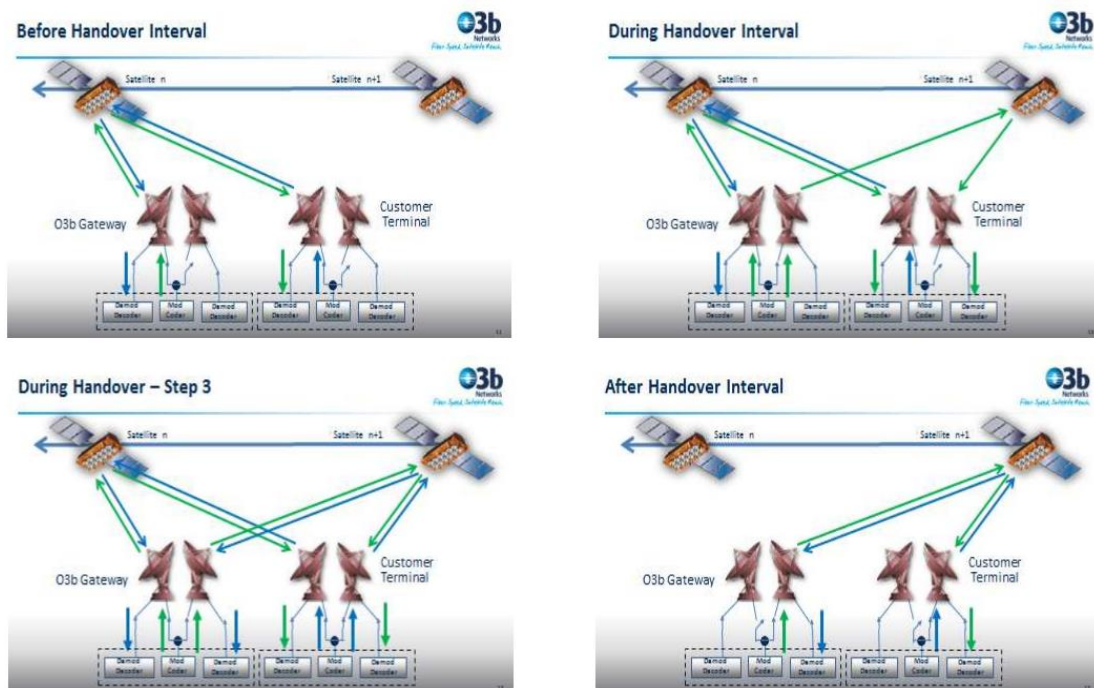


Figura N° 16: Metodología handover

Fuente: <https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/cyprus-2014/Documents/Presentations/Hazem%20Moakkit%20-%20O3b.pdf>

2.2.11 Cobertura del Haz (beam)

- La cobertura interna se define como 0.2° fuera del alcance. Esta cobertura de antena interna (de aproximadamente 50 km de diámetro) proporciona una ganancia de antena óptima para los principales servicios de Nivel 1.
- La cobertura exterior se define como 2.5° fuera de foco
- Esta cobertura de antena (aproximadamente 700 km de diámetro) proporciona área de cobertura para los servicios al cliente, a la vez que proporciona suficiente ganancia de antena.

La figura 17 nos muestra la cobertura interna y externa del beam O3b.

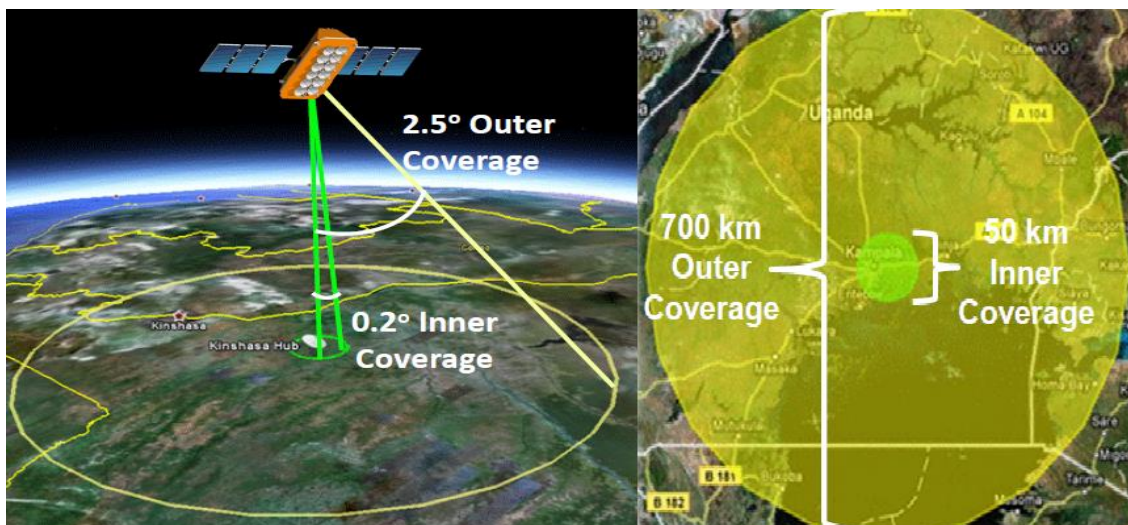


Figura N° 17: Cobertura del Haz O3b

Fuente: http://www.kaconf.org/2013/_doc/colloquium/5_David_Burr.pdf

La configuración flexible del satélite permite la transferencia de datos entre antenas de varias maneras así, el tracking entre dos puntos es simple, o el tracking entre muchos puntos es también posible.

Las antenas orientables se pueden mover a un lugar en minutos y cada una proporciona hasta 1,25 Gbps de rendimiento

El módulo de servicio proporciona la estabilización de señal de tres ejes de la plataforma. El control de 3 ejes es proporcionado por una combinación de ruedas de reacción, barras de torsión y conjuntos de motores de reacción.

La determinación de la altitud es proporcionada por sensores solares y de tierra en combinación con una unidad de medición inercial

Una unidad de navegación GPS proporciona la posición de la órbita. La energía es suministrada por dos arsenales de arseniuro de galio y una batería de Li-Ion. (David Burr, O3b Networks).

2.2.12 Red de Gateways

Vinueza Escobar, N.F. (2015). Menciona que el núcleo en tierra de la red O3b está compuesto de un conjunto de 9 Gateways estratégicamente distribuidos sobre la superficie de la tierra. Los países sobre los que se han desplegado los Gateway se mostraron anteriormente en la Figura 5 obedeciendo a razones de distribución y cobertura.

El conjunto de Gateway se interconecta mediante fibra óptica hacia el núcleo de grandes infraestructuras de comunicación y al backbone de Internet a través de importantes POPs (Points of Presence). (p.25).

Los Gateways para la región que contiene Perú, se encuentran en las instalaciones de Telefónica en Lurín – Perú. En estas instalaciones se tiene una función dual, siendo la principal el control del sistema y la otra función el servicio a grandes clientes.

Los Gateway incorporan sistemas de telemetría y comando usados para controlar los satélites durante etapas tempranas de su lanzamiento y completar su integración con el SOC (Satellite Operations Center)

Los Gateways cuentan con tres antenas de 7.3 m de diámetro, dos principales para mantener la comunicación durante el proceso de seguimiento a los satélites y la tercera sirve como respaldo. Su diseño posibilita que las antenas mantengan un ángulo de elevación sobre los 15° con respecto al plano terrestre, lo cual previene interferencia de lóbulos laterales con otros usuarios.

2.3 Modulación y Codificación Adaptiva ACM

Merino Acuña H.W 2014. En su tesis menciona que el objetivo de la modulación adaptativa es la de sacar mayor provecho del espectro satelital, mediante la utilización de modulaciones más eficientes durante condiciones favorables de clima despejado. Esto se plasma en que a medida que tengamos una menor energía para transmitir un bit de información, va a ser necesaria la aplicación de una modulación más robusta, o de nivel inferior, lo cual conlleva a una reducción de eficiencia espectral, es decir se utilizan más Hz para un mismo servicio. (p.34).

Se requiere de la existencia de un canal de realimentación entre el transmisor y el receptor, el cual puede no ser realizable para algunos sistemas. Además, el rendimiento de la técnica adaptativa será muy pobre si el canal va cambiando más rápido de lo que puede ser fiablemente estimado y realimentado al transmisor.

Las Probabilidades de recibir bits erróneos son altas en presencia de ruido en el medio de transmisión afectando el esquema de congelación. Por esta razón surge la necesidad de que las técnicas de modulación y codificación se adapten al desvanecimiento en el canal con el propósito de mantener una SNR lo más estable y cuantificable posible.

Clemente Medina M.C (2013). En su tesis menciona que ACM es Básicamente la técnica que consiste en estimar la respuesta del canal en la estación receptora y enviar las estimaciones obtenidas a la estación transmisora realizando un sistema retroalimentado mediante un canal de retorno, con el propósito de que el transmisor según los valores obtenidos pueda decidir de forma inteligente el nivel de modulación más conveniente y de esta manera variar la tasa de datos o la potencia de transmisión cuando se degrada la calidad del enlace. (p.25).

La codificación del sistema ACM está compuesta de una serie de modificaciones aplicadas a la señal a transmitir detectando y corrigiendo errores, con el objetivo de controlar la probabilidad de error del sistema, mejorando de esta manera la SNR necesaria para recuperar la información sin errores.

Esta técnica también se conoce como ganancia de codificación y en términos generales su aplicación es la reducción de la SNR necesaria para obtener un determinado BER en un sistema de comunicación con un canal afectado por el ruido.

Clemente Medina M.C (2013). En su tesis describe el sistema general asociado con la transmisión adaptativa que se muestra en la fig. 18. El canal se modela con desvanecimiento plano como un canal de tiempo discreto con ganancia variante en el tiempo estacionaria p y ergódica $g[i]$ que sigue una distribución dada por la PDF $f(g)$, y ruido aditivo blanco gaussiano (AWGN Additive White Gaussian Noise) $n[i]$ con varianza σ^2 . Se supone que P representa la potencia media de la señal transmitida, B el ancho de banda de la señal recibida y \bar{g} la ganancia de potencia promedio del canal. (p.28).

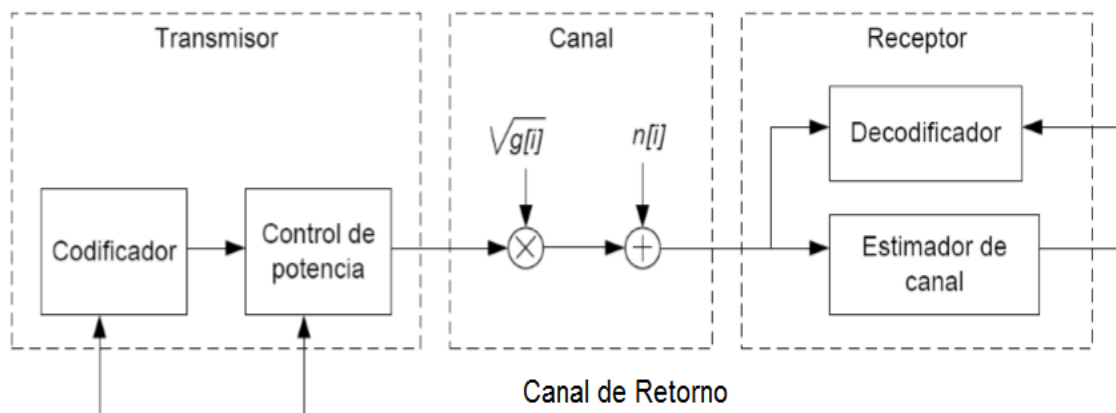


Figura N° 18: Modulación ACM
Fuente: <https://telecomundo.wordpress.com>

Entonces, la SNR instantánea recibida será una variable aleatoria de la siguiente forma.

$$\gamma(i) = \frac{P * g(i)}{\sigma^2} \dots\dots\dots 0 \leq \gamma[i] < \infty$$

Ecuación General de modulación y codificación adaptativa ACM

Y el valor medio temporal es igual a:

$$\bar{\gamma} = \frac{P * \bar{g}}{\sigma^2}$$

Ecuación de estimación promedio de modulación adaptativa

Ya que $g[i]$ es estacionario, la distribución de $\gamma[i]$ es independiente de i y se caracteriza mediante la PDF $f(\gamma)$. (Telecomundo, 2016).

Clemente Medina M.C (2013). Menciona que en la transmisión adaptativa se estima la ganancia de potencia o la SNR recibida en el tiempo i , y en consecuencia se adaptan los parámetros de modulación y codificación en el transmisor. Los parámetros más comunes que se utilizan para la adaptación son la tasa de datos $R[i]$ y la potencia transmitida.

Si se supone que los símbolos transmitidos presentan una duración TS , se tendrá que el ancho de banda de transmisión es $B = 1/TS$. Para el esquema de modulación donde se transmiten $M[i]$ posibles estados durante el intervalo de símbolo, la tasa de transmisión en el instante i -ésimo es igual a $R[i] = \log_2 M[i]/TS = B \log_2 M[i]$ bps.

La eficiencia espectral de este esquema de modulación es. $R[i]/B = \log_2 M[i]$ bps/Hz, en la figura 18, se aprecia la disponibilidad de un canal de retorno entre el receptor y el transmisor. Dicho canal permitirá al transmisor conocer la estimación del canal realizada en el receptor, con el fin de adaptar su potencia, tasa de transmisión y esquema de modulación junto con codificación a las variaciones del estado del canal. (p.27).

Según los valores adquiridos, el sistema ACM adaptara los parámetros de modulación y codificación en el transmisor. Como lo anteriormente mencionado. Esta técnica se basa en las variaciones de la tasa de datos 'fb' y la potencia de transmisión de manera que el ancho de banda se ve afectado por la conmutación entre los estados de ACM.

Suponiendo que los símbolos transmitidos tienen una duración total 'Ts' existen M(t) posibles estados durante el intervalo de tiempo de símbolo y que tiene un ancho de banda $B = 1/T_s$, la tasa de datos viene dada por la siguiente ecuación. (p.28).

$$F_b(t) = \log_2 \left(\frac{M(t)}{T_s} \right)$$

$$F_b(t) = B \times \log_2 (M(t)) \longrightarrow \text{Tasa de transmisión variante en } t.$$

Por otro lado la eficiencia espectral viene dado por:

$$E = \left(\frac{F_b(t)}{B} \right) \text{ bps/bz} \longrightarrow \text{Eficiencia espectral de modulación adaptiva}$$

Se observa la disponibilidad de un canal de retorno entre el receptor y el transmisor, dicho canal permitirá al transmisor conocer la estimación del canal realizado en el receptor, con la finalidad de adaptar su potencia, tasa de transmisión y esquema de modulación junto con codificación a las variaciones del estado del canal.

Clemente Medina M.C (2013). En su tesis define que los esquemas ACM utilizan un juego de códigos de canal y técnicas de modulación con diferentes eficiencias espectrales para transmitir información en canales con desvanecimiento plano. La BER en función de la SNR del canal para cada esquema ACM en un canal AWGN debe ser conocida. Entonces un umbral de la SNR se define para cada esquema ACM, de forma que se garantice una BER por debajo de una cierta BER objetivo, denominada BER_t (BER target), cuando la SNR del canal este por encima del umbral.

Se considera el sistema mostrado en la figura 19, donde aparecen los bloques de modulación adaptativa junto con codificación tanto en transmisión como en recepción, un canal de comunicaciones con desvanecimiento plano, y un canal de retorno desde el receptor hacia el transmisor enviando información del estado del canal, el cual se asume que es instantáneo y libre de errores. (p.29-30).

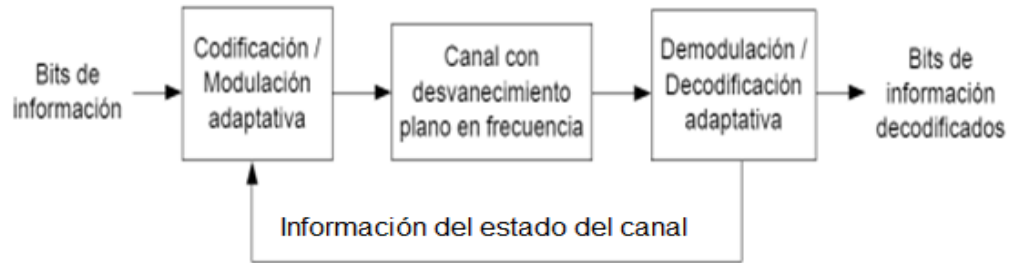


Figura N° 19: Estado del canal ACM
Fuente: <https://riuma.uma.es>

El transmisor analiza esta información para seleccionar el esquema ACM con la más alta eficiencia espectral que cumpla la BER exigida.

Este esquema de transmisión completo presentara una baja eficiencia espectral cuando la SNR estimada del canal sea baja, y una alta eficiencia espectral cuando la SNR estimada del canal sea alta. Bajo estas condiciones ideales, la ASE del sistema ACM se calculara promediando la eficiencia espectral disponible sobre la distribución del desvanecimiento plano del canal.

El canal de comunicaciones considerado es variante en el tiempo, y plano en frecuencia con desvanecimiento multicamino lento. Tomando el conocido modelo de banda base complejo del canal, si la señal de banda base compleja en el índice de tiempo k se denota por $x(k)$, la señal recibida se obtiene como:

$$Y(k) = \alpha(k) x(k) + n(k), \text{ donde}$$

$\alpha(k)$ \longrightarrow es la envolvente del desvanecimiento

$n(k)$ \longrightarrow el valor complejo del ruido AWGN con las componentes real e Imaginaria estadísticamente independiente.

La envolvente del desvanecimiento es una variable compleja, que representa la ganancia resultante después de sumar todas las componentes de la señal recibida (directa y multicamino) en el receptor.

La SNR del canal en recepción en el instante de tiempo k se define como:

$$\gamma(k) = \frac{|\alpha(k)|^2 P}{N_o B} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Y su valor promedio es igual a:

$$\bar{\gamma} = \frac{G P}{N_o B} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Siendo P la potencia media transmitida, $N_o/2$ la densidad espectral de potencia del ruido, B el ancho de banda transmitido, y $G = E [|\alpha(k)|^2]$ la ganancia de potencia promedio. Considerando una familia de constelaciones de la señal MQAM con un tiempo de símbolo fijo T_s , donde M denota el número de puntos en cada constelación de la señal y asumiendo que $T_s = 1/B$ se obtiene la SNR promedio en función de E_s/N_o .

$$\bar{\gamma} = \frac{G P T_s}{N_o} = G \frac{E_s}{N_o} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Clemente Medina M.C (2013). En su tesis menciona que las conmutaciones de un sistema ACM vienen dados por N esquemas de codificación y modulación como se ve en la figura 20, los cuales pueden ser QPSK, 8QAM, 32QAM, 64QAM y así sucesivamente (ACM-1, ACM-2... ACM-N+1) los cuales se asignan según el SNR en función al BER, donde dependiendo sea el equipo se asigna un BER_t o BER Target. (p.31).

Este se define como el nivel de umbral o nivel mínimo de probabilidad de error donde el sistema realiza los cambios de modulación.

La figura 20, muestra un conjunto finito de N esquemas de codificación (ACM-1, ACM-2,....., ACM-N).

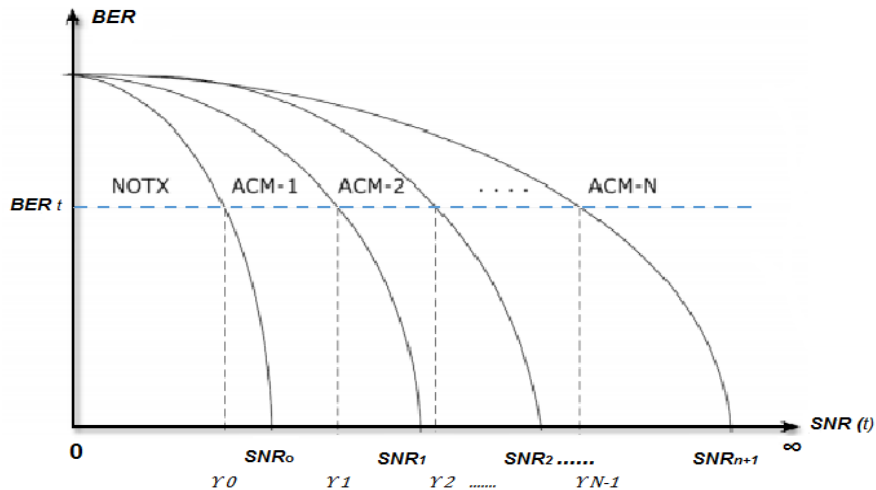


Figura N° 20: Modulación adaptiva ACM

Fuente: <https://telecomundo.wordpress.com/2016/10/16/modulacion-adaptativa-acm-adaptative-coding-and-modulation/>

Estos esquemas presentan diferentes eficiencias espectrales, las cuales son usadas para transmitir información dentro de los diferentes intervalos de SNR instantánea γ que se forman en el canal.

Se define un umbral para cada esquema, de forma que se garantice una BER por debajo de la BER_t , cuando la SNR del canal γ está por encima de dicho umbral.

El rango de posibles valores de la SNR del canal, $\gamma \in [0, \infty)$, se divide en $N + 1$ regiones delimitadas por $N + 2$ umbrales, $\{\gamma_n\}_{n=-1}^N$.

Siendo $\gamma_{-1} = 0$

$$\gamma_N = \infty$$

Así como se indica en la figura 20. Los umbrales son seleccionados de forma que la BER del esquema ACM-k es menor o igual que la BER_t cuando $\gamma \geq \gamma_{k-1}$.

Se tienen $N+1$ tasas binarias, $\{R_k\}_{k=0}^N$, siendo $R_0 = 0$ y asumiendo que $R_1 < R_2 < \dots < R_N$, donde R_k es la correspondiente eficiencia espectral del esquema ACM-k para cada región $[\gamma_{k-1}, \gamma_k)$ ($0 \leq k \leq N$), de forma que cuando la SNR instantánea del canal γ cae dentro de una región se transmite la tasa de transmisión asignada según se indica en la tabla 3.

Tabla 3: Tasa de transmisión según el esquema de codificación

Región	Rango de umbrales	Esquema de codificación	Tasa de transmisión
0	$0 \leq \gamma < \gamma_0$	NOTX	R_0
1	$\gamma_0 \leq \gamma < \gamma_1$	ACM-1	R_1
2	$\gamma_1 \leq \gamma < \gamma_2$	ACM-2	R_2
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
N	$\gamma_{N-1} \leq \gamma < \infty$	ACM-N	R_N

Fuente: <https://telecomundo.wordpress.com>

Se observa que si $0 \leq \gamma < \gamma_0$ no se transmite señal (NOTX Non Transmisión), por lo que γ_0 sirve como umbral de corte por debajo del cual el canal no se utiliza cuando su calidad está muy degradada.

Esto compromete de forma seria la calidad de servicios de comunicaciones como voz o video en tiempo real, que requieren una tasa fija y un retardo máximo limitado, por tanto en estas aplicaciones se debe optimizar la modulación adaptativa para minimizar el porcentaje de tiempo durante el cual el sistema no transmite debido a las condiciones adversas de canal. Para analizar la distribución estadística de la SNR instantánea γ del canal, se calculan los estadísticos de primer orden como la velocidad media en bits/s/Hz y la tasa de error promedio

Definiremos la cifra ASE del sistema ACM como:

$$\begin{aligned}
 ASE = E [R (\gamma)] &= \sum_{k=1}^N R_k P_k = \sum_{k=1}^n R_k \Pr [\gamma_{k-1} \leq \gamma \leq \gamma_k] \\
 &= \sum_{k=1}^N R_k \int_{\gamma_{k-1}}^{\gamma_k} f_{\gamma} d\gamma
 \end{aligned}$$

Donde P_k es la probabilidad de seleccionar el esquema de codificación ACM-k, que se calcula a partir de la PDF, $f (\gamma)$ de la distribución del desvanecimiento plano del canal. Para un sistema ACM bien diseñado, la realización de ASE superar a la realización de un sistema tradicional empleando un simple esquema de codificación.

La cifra BER promedio se calcula con la expresión siguiente.

$$\begin{aligned} \text{ABER} &= \frac{E [R(\gamma)\text{BER}(\gamma)]}{E [R(\gamma)]} = \frac{\sum_{K=1}^N R_k \int_{\gamma_{k-1}}^{\gamma_k} f(\gamma) \text{BER}(\gamma) d\gamma}{\sum_{K=1}^N R_k \int_{\gamma_{k-1}}^{\gamma_k} f(\gamma) d\gamma} \\ &= \frac{1}{\text{ASE}} \sum_{K=1}^N R_k \int_{\gamma_{k-1}}^{\gamma_k} f(\gamma) \text{BER}(\gamma) d\gamma \end{aligned}$$

Que proporciona una medida exacta del número total de bits erróneos recibidos dividida por el número total de bits recibidos para un proceso de desvanecimiento estacionario. (S. Zhou and G. B. Giannakis). (p.1626).

2.3.1 Técnica de Modulación y Codificación Adaptiva

Merino Acuña H.W 2014. En su tesis de Mg. Define a ACM como la aplicación de una tasa de codificación variable de acuerdo a las condiciones del clima, es decir en condiciones favorables se utiliza una codificación más eficiente a fin de reducir la energía que se requiere por la transmisión de un bit de información. Como conocemos, los bits redundantes a los bits de información permiten la detección y corrección de errores en la transferencia de información.

El objetivo de la modulación adaptativa es la de sacar mayor provecho del espectro satelital, mediante la utilización de modulaciones más eficientes durante condiciones favorables de clima despejado. Esto se plasma en que a medida que tengamos una menor energía para transmitir un bit de información, va a ser necesaria la aplicación de una modulación más robusta, o de nivel inferior, lo cual conlleva a una reducción de eficiencia espectral, es decir se utilizan más Hz para un mismo servicio. (p.34-35).

Adicionalmente, mediante un testeo que se realiza de forma automática y constante, el sistema va modificando su configuración en cuando se perciban degradaciones del enlace, logrando operar con los esquemas de modulación y codificación más robustos en condiciones de clima desfavorables como lluvias.

De acuerdo a esto podemos representar ACM de acuerdo a las características del clima y diferente tipo de modulación representadas en la figura 21.

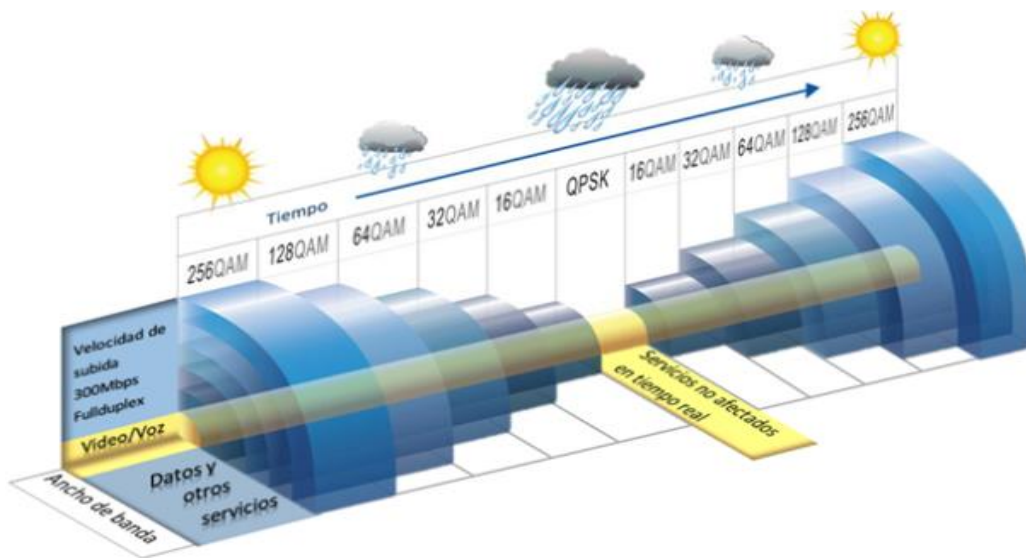


Figura N° 21: ACM de acuerdo a las características del clima

Fuente: <https://telecomundo.wordpress.com/2016/10/16/modulacion-adaptativa-acm-adaptive-coding-and-modulation/>

El objetivo de usar este tipo de modulación es mantener una SNR lo más estable y cuantificable posible. Esta técnica es diseñada para implementar sistemas de transmisión estable y espectralmente eficiente cuando las características del canal varían con el tiempo. El nivel de modulación escogido por el transmisor es de acuerdo al ACM más conveniente así de esta forma podemos variar la tasa de datos o la potencia de transmisión.

En resumen, esta técnica elige dinámicamente la transmisión modulación / par de codificación (MODCOD) basado en el canal (Relación potencia / ruido de la portadora e interferencia Potencia) de cada terminal de recepción.

Por ejemplo, Cuando el enlace está en condiciones de cielo despejado, el sistema Emplea MODCOD's con alta eficiencia espectral, Para proporcionar la tasa de datos más alta. Como la lluvia afecta el enlace, el controlador ACM emplea MODCOD's con baja eficiencia espectral y una menor señal al ruido más la relación de interferencia SNR para mantenerla.

Aguayo Torres C. (2001). Muestra en su tesis algunos de los autores que estudiaron las técnicas de modulación adaptativa que se han propuesto en los últimos años y que sugieren la modificación de distintos parámetros de la señal transmitida. La figura 22 resume las técnicas que diversos grupos han utilizado en sus trabajos. Que están dispuestos a pagar por una mejor QoS y enlace. (p.21).

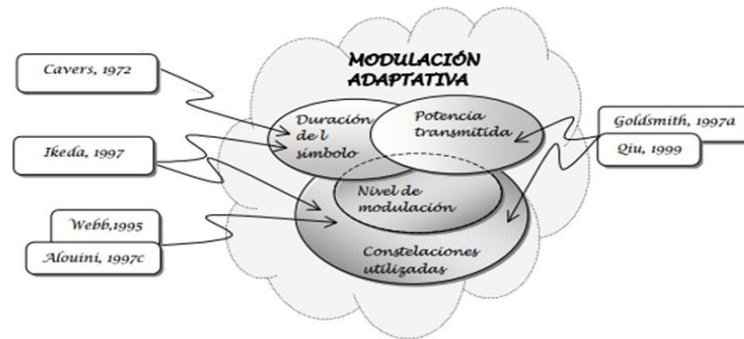


Figura N° 22: Técnicas de modulación adaptativa

Fuente: http://webpersonal.uma.es/~MDAGUAYO/index_files/Tesis%20Aguayo.pdf

2.3.2 Transmisor ACM

Aguayo Torres C. (2001) representa el diagrama simplificado del transmisor ACM en La Figura 23, en el que se modifica el régimen binario: La velocidad de símbolo se mantiene constante y el número de bits, $m[n]$, utilizados para elegir un símbolo es variable, y está bajo control del receptor. Los $m[n]$ bits seleccionan uno de los símbolos de la constelación u -ésima, determinada por su número de símbolos 2^n . (p.38).

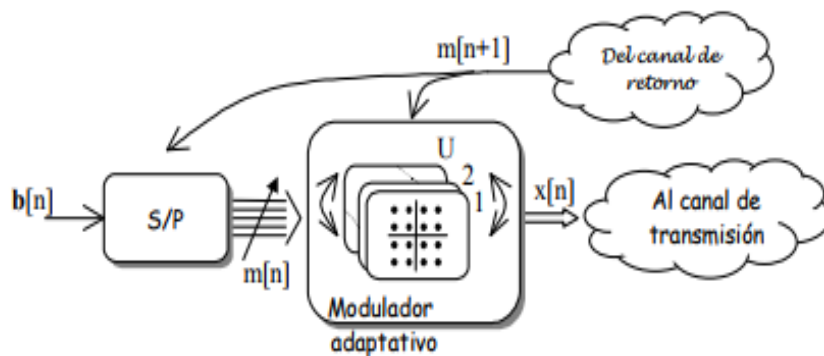


Figura N° 23: Diagrama simplificado del transmisor

Fuente: http://webpersonal.uma.es/~MDAGUAYO/index_files/Tesis%20Aguayo.pdf

2.3.2 Receptor ACM

Aguayo Torres C. (2001). Representa en la Figura 24, el receptor ACM. El receptor estima la SNR instantánea y escoge el número de bits que se deben usar en la siguiente transmisión. Si es necesario (es decir, si ha habido un cambio en la constelación) esta información de control se envía por el canal de retorno hacia el transmisor. En el caso de canales variables, el entrenamiento no puede hacerse únicamente al principio de la transmisión, sino que debe haber una estimación continua del canal. (p.38).

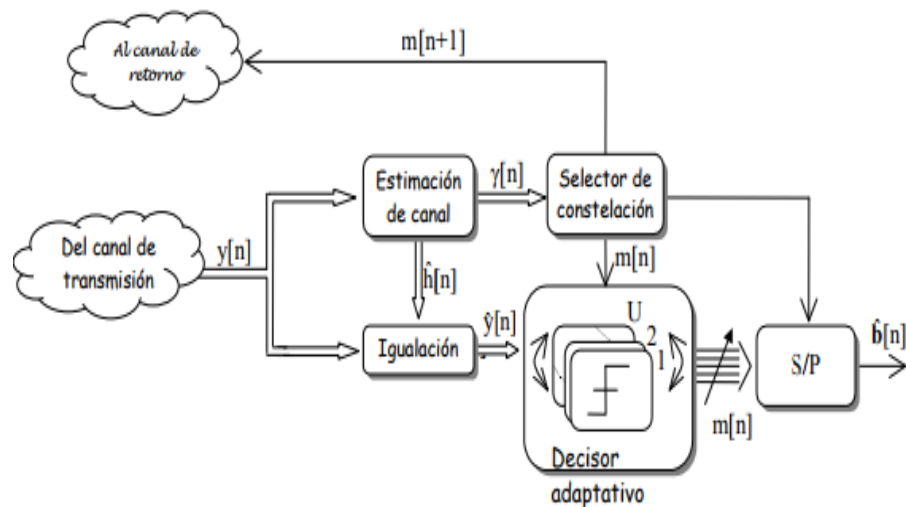


Figura N° 24: Diagrama simplificado del receptor.

Fuente: http://webpersonal.uma.es/~MDAGUAYO/index_files/Tesis%20Aguayo.pdf

Aunque no se muestra en el diagrama, se puede emplear una técnica de modulación ayudada por símbolos piloto (PSAM, Pilot Symbol Assisted Modulación): símbolos conocidos por el receptor son insertados por el transmisor periódicamente de forma que aquel sea capaz de seguir las variaciones de amplitud y fase del canal.

La multiplexación de estos símbolos conocidos como los símbolos de información que permite obtener una estimación del canal que es causal. Esta estimación no será exacta, lo que introducirá errores en el sistema a través de dos caminos: una selección errónea de la modulación que debe emplearse y una igualación no perfecta del canal.

2.4 Estándar de transmisión por Satélite DVB-S2/ACM

ACM proporciona un aumento adicional y dramático en la eficiencia del ancho de banda sobre el treinta por ciento ya ofrecido por DVB-S2 y permite una flexibilidad mucho mayor para las implementaciones de red.

2.4.1 Incrementando la eficiencia del ancho de banda DVB-S2/ACM

Valenzuela Quintanilla J.P (2010). Menciona que DVB-S2 permite una transmisión digital mucho más eficiente que su antecesor debido a que incluye la combinación de esquemas de modulación de orden superior (8PSK & 16-QAM) y de códigos Low Density Parity Check (LDPC) junto con Bose-Chaudhuri-Hocquenghem (BCH) para corrección de errores en el canal. Este nuevo estándar mejora notablemente la utilización del ancho de banda disponible en los satélites, incrementando la capacidad programada, la huella del área de cobertura del satélite y satisfaciendo todos los requerimientos para la transmisión de televisión de alta definición. (p.18).

ACM es una mejora del estándar DVB-S2 que mejora drásticamente su rendimiento en el entorno bidireccional VSAT, mediante la optimización dinámica de los parámetros operativos del operador de salida.

Aprovecha el canal de retorno para proporcionar una evaluación de las condiciones del canal en cada control remoto para determinar los parámetros de enlace óptimos en función del rendimiento del enlace por satélite, las características de RF del terminal y las condiciones meteorológicas locales.

El Hub puede entonces, sitio por sitio, adaptar a la modulación específica y el esquema de codificación para tener en cuenta cualquier impedimento del enlace saliente a cada terminal. Los ajustes continuos se realizan en tiempo real sin la intervención del operador de red. Al cambiar la modulación y la codificación según las condiciones actuales del enlace, la solución DVB-S2 / ACM proporciona una eficiencia de ancho de banda adicional superior al 50% en comparación con otras soluciones DVB-S2 que no son ACM.

2.4.2 Superando la degradación de la lluvia

Merino Acuña H.W 2014. Menciona que la atenuación por lluvia es causada por la absorción y dispersión de las gotas de lluvia. Esta se encuentra relacionada a la frecuencia, ángulo de elevación de la terminal, polarización, intensidad de lluvia, distribución de los tamaños y la temperatura de las gotas de lluvia. La atenuación por lluvia es el principal fenómeno que afecta a la propagación en la Banda Ka para porcentajes de tiempo cortos, lo que ocasiona desvanecimientos de la señal. (p.31).

ACM optimiza automáticamente el rendimiento del enlace, equilibrando la disponibilidad de la eficiencia a medida que cambian las condiciones del enlace. Cuanto mayor sea la diferencia entre el cielo despejado y las peores condiciones, más aparentes serán los beneficios de ACM.

Los márgenes de enlace previamente requeridos para sobrevivir a las lluvias tropicales ahora pueden reasignarse durante las mejores condiciones que prevalecen la mayor parte del tiempo, para producir un mayor rendimiento de la misma capacidad.

2.4.3 Rendimiento óptimo del enlace Relación C/N

Merino Acuña H.W 2014. Muestra la figura 25, tomada de la fuente mencionada donde indica que. En la actualidad la mayoría de sistemas destinados a brindar servicios de Internet, utilizan el estándar DVB-S2 un estándar abierto que permite ser utilizado en una gran variedad de aplicaciones por satélite y el cuál se caracteriza por lo siguiente.

Sistema de codificación FEC basada en LDPC (Low density parity Check) de forma concatenada con codificación BCH, la cual permite una operación casi libre de errores que van desde los 0.7 dB hasta 1 dB cerca al límite de Shannon, dependiendo del modo de transmisión, Rango amplio de tasas de código que van desde 1/4 hasta 9/10 (1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10).

Además, dispone de 4 constelaciones de modulación disponibles: QPSK, 8 PSK, 16 APSK y 32 APSK que permiten una eficiencia espectral que puede llegar hasta 5 bit/Hz.

Tres formas de espectro con factores de Roll-Off de 0.35, 0.25 y 0.20. Funcionalidad de Modulación y Codificación Adaptativa (o ACM, por sus siglas en ingles), para mejorar la eficiencia de cada enlace de forma individual frente a condiciones climáticas adversas como la lluvia.

En la Figura 25, se aprecian los niveles de eficiencia espectral que se pueden obtener por cada tipo de modulación disponible en el estándar DVB-S2. (p.35).

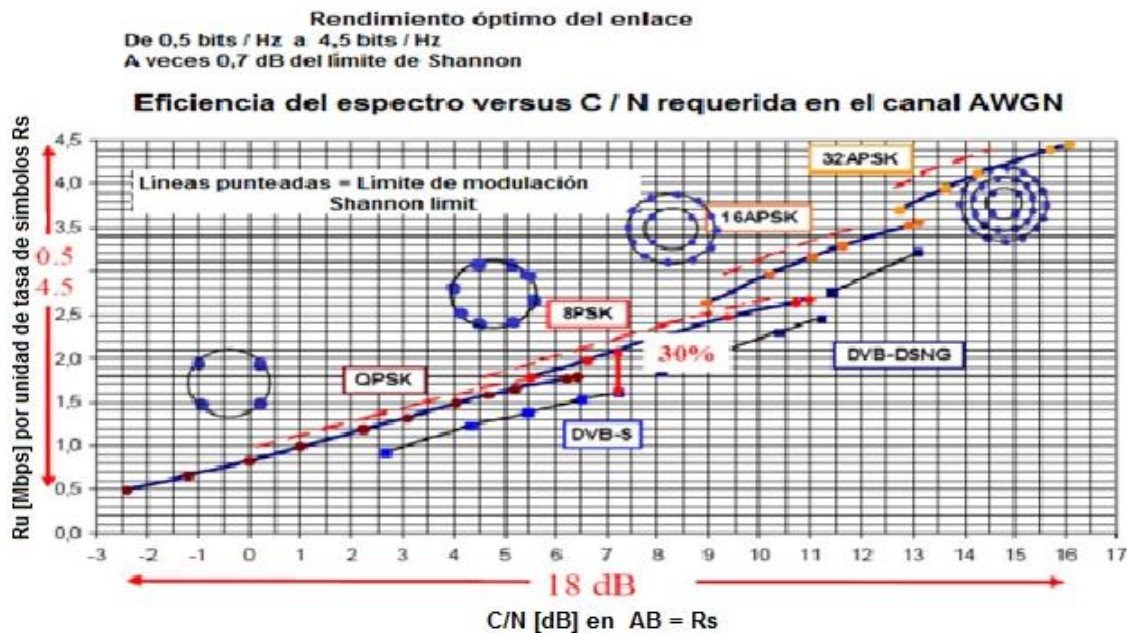


Figura N° 25: C/N requerido vs eficiencia espectral. (C/N se refiere a la Potencia promedio).
Fuente: <http://satlabs.org/pdf/Technology-Nera.pdf>

Para esta relación, C representa la potencia de la señal portadora, y su unidad de medida es el Watt [W]. N corresponde a la potencia de ruido presente en un ancho de banda AB, y se lo expresa en Watts [W]. Por lo tanto, C/N representa la potencia de la señal portadora en todo el ancho de banda utilizable. Se mide en decibelios [dB].

Dependiendo de la tasa de código seleccionada y de la modulación, DVB-S2 puede operar en relaciones de portadora a ruido (C/N) desde -2.4 [dB] usando QPSK 1/4, hasta 16 [dB] usando 32 APSK 9/10 (asumiendo un canal AWGN y un demodulador ideal), tal como se aprecia en la Figura 25.

En ella también se observa que la distancia desde el límite de Shannon varía en un rango desde 0,7 hasta 1,2 [dB].

2.4.4 Rendimiento DVB-S2 para un ancho de banda constante

Valenzuela Quintanilla J.P (2010). En la Figura 26, muestra el rendimiento DVB-S2 para un ancho de banda constante $AB = R_s \cdot (1 + \alpha)$ en el canal AWGN, asumiendo demodulación ideal.

Además, C/N y E_b/N_o se relacionan de la siguiente manera:

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_o} \cdot \frac{R_u}{AB}$$

En decibel, se puede escribir la ecuación anterior como:

$$\frac{C}{N} \text{ [dB]} = \frac{E_b}{N_o} \text{ [dB]} \cdot \frac{R_u}{AB} + 10 \log(R_u) - 10 \log(AB)$$

La ecuación anterior es la que se utiliza para calcular la relación C/N sobre el enlace forward DVB-S2. (p.35).

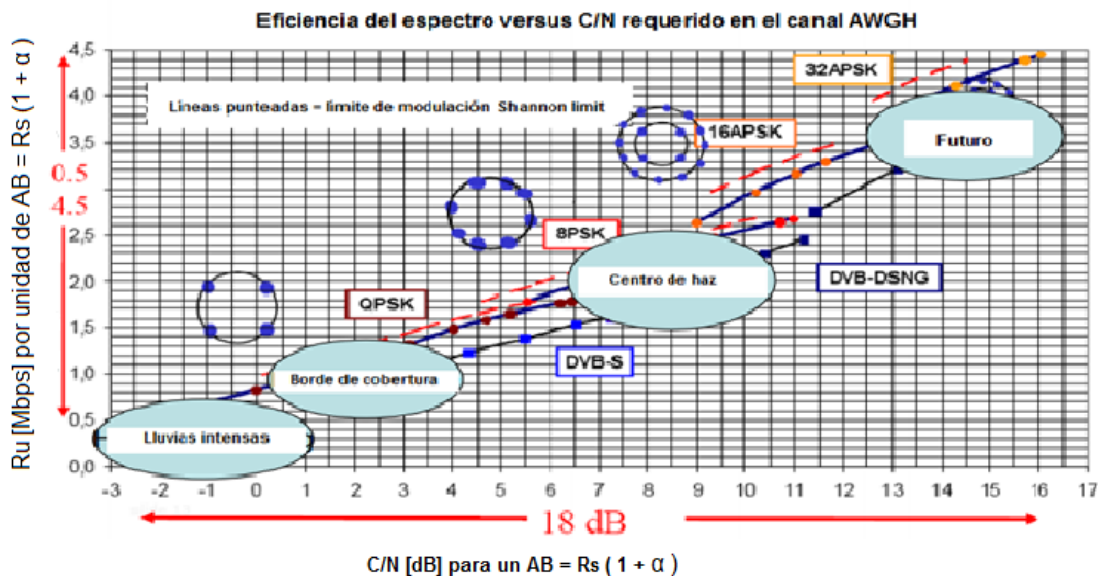


Figura N° 26: C/N requerido versus eficiencia espectral para una ancho de banda constante $AB = R_s \cdot (1 + \alpha)$ Sobre un canal AWGN (demodulación ideal).

Fuente: <http://satlabs.org/pdf/Technology-Nera.pdf>

2.4.5 Diagrama de bloques del sistema DVB-S2

Valenzuela Quintanilla J.P (2010). Muestra el diagrama de bloques tomado de la fuente mencionada donde indica que dentro de cada trama PLFRAME, los parámetros de modulación y codificación son fijos, pero pueden variar entre tramas consecutivas si se usa ACM así como se ilustra en la figura 27. (p.30).

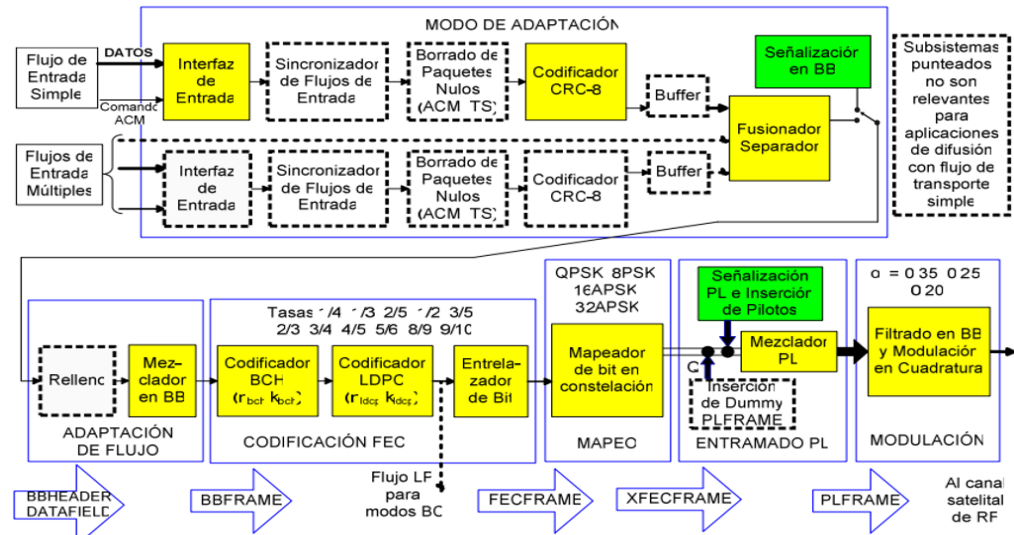


Figura N° 27: Diagrama de bloques del sistema DVB-S2
Fuente: <http://satlabs.org/pdf/Technology-Nera.pdf>

2.4.6 Mezclado de capa física (PL)

Guerra Mina D.F (2007). En su tesis menciona que previo a la modulación, cada PLFRAME, excluyendo el PLHEADER, será aleatorizada para lograr una dispersi3n de energí3, necesaria para no concentrarla demasiado en algunas partes de la secuencia a transmitir. Esta aleatorizaci3n se consigue multiplicando los sÍmbolos de la PLFRAME por una secuencia de aleatorizaci3n compleja.

La secuencia de aleatorizaci3n es reinicializada al final de cada PLHEADER. Debido a la duraci3n de la PLFRAME depende de la modulación seleccionada, la longitud y la secuencia de aleatorizaci3n debe ser truncada a la longitud de la PLFRAME que se est3 utilizando. Este procedimiento se bosqueja en la figura 28. (p.31).

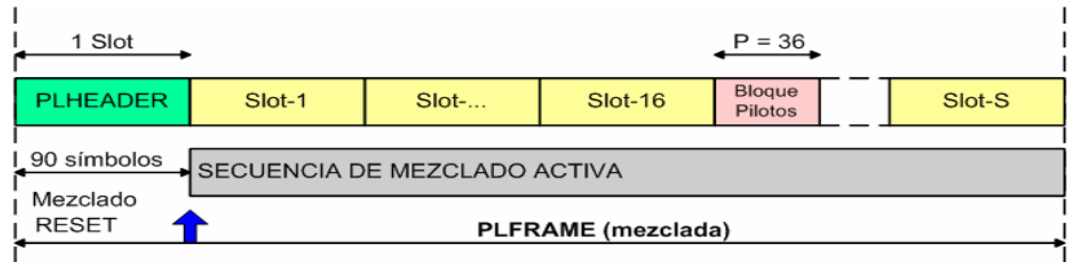


Figura N° 28: PL frames Mezclado a nivel de capa física PL

Fuente: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/302307/01.02.01_60/en_302307v010201p.pdf

- La transmisión se organiza en tramas – Pueden ser cortas (16200 bits) o largas (64800 bits)
- En cada trama, pueden cambiar los parámetros de transmisión (MOD, COD) según las condiciones del enlace
- La cabecera incluye señales de señalización y sincronismo

2.4.7 Codificación FEC (Forward Error Correction)

Guerra Mina D.F (2007). Menciona que La codificación permite corregir en el lugar de destino una proporción determinada de errores sin necesidad de retransmisión. El codificador FEC es el subsistema clave que permite lograr un excelente rendimiento por el satélite, en presencia de altos niveles de ruido e interferencia.

Se basa en códigos de bloque y códigos desarrollo continuo o convoluciones, que obligan a agregar bits a la información, antes de la modulación, Los códigos de bloque son excelentes para detectar errores, pero usualmente proporcionan bajas ganancias de codificación cuando se usan para corrección de errores, debido a la alta tasa de bits que utilizan para paridad. Los códigos convolucionales proporcionan altas ganancias de codificación, pero son inútiles para la detección de errores

Debido a las características de ambos tipos, también se usan los códigos híbridos concatenados o en cascada, en los cuales un mensaje se codificar usando un código de bloque, y el resultado se codifica usando un código convolucional. (p.4).

2.4.8 La Codificación FEC sobre DVB-S2

Valenzuela Quintanilla J.P (2010). En su tesis menciona que cada BBFRAME (K_{bch} bits) es procesada por el subsistema de Codificación FEC, para generar una FECFRAME (n_{ldpc} bits). Los bits de chequeo de paridad (BCHFEC) del código externo BCH sistemático se añaden después de la BBFRAME, y los bits de chequeo de paridad (LDPCFEC) del codificador LDPC interno son añadidos después del campo BCHFEC. Ver Figura 29. (p.22).

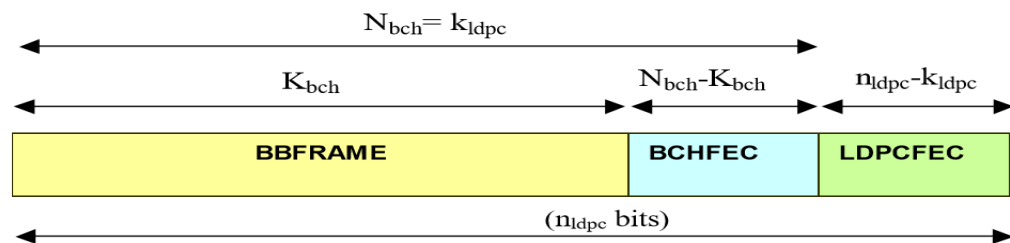


Figura N° 29: Formato de los datos antes del Entrelazador de bit. ($n_{ldpc} = 64800$ bits para FECFRAME normal y $n_{ldpc} = 16200$ bits para FECFRAME corta)
Fuente: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/302307/01.02.01_60/en_302307v010201p.pdf

FEC aplica un código BCH (N_{bch} , K_{bch}) de corrección de hasta t bytes erróneos a cada BBFRAME (K_{bch} bits) para generar un paquete protegido contra errores, luego el codificador LDPC (n_{ldpc} , k_{ldpc}) sistemáticamente codifica el bloque de información resultante de tamaño $N_{bch} = k_{ldpc}$ bits en una palabra código de tamaño n_{ldpc} bits. (p.23).

2.4.9 Cálculo de la tasa de código FEC

Valenzuela Quintanilla J.P (2010). Menciona que la tasa de código corresponde a la relación que existe entre el número de bits que ingresan al subsistema “Codificación FEC” y el número de bits que salen ya codificados de este bloque.

Para el sistema DVB-S2, el número de bits que ingresan al codificador FEC para su tratamiento es K_{bch} bits.

El número de bits que salen de este codificador corresponde a la longitud de la FECFRAME (ya sea de longitud normal o corta), esto es n_{ldpc} bits. Por lo tanto, la tasa de código FEC está dada por la ecuación: (p.24).

$$\text{Tasa FEC} = \frac{K_{bch} [\text{bits}]}{n_{ldpc} [\text{bits}]}$$

2.4.10 Eficiencia de modulación del sistema DVB-S2

Valenzuela Quintanilla J.P (2010). Menciona que DVB-S2 brinda la posibilidad de utilizar modulación QPSK, 8PSK, 16APSK y 32APSK. La razón para ocupar esquemas de modulación altos es porque estos pueden agrupar más de un bit en un símbolo. Es así que, modulaciones de alto orden incrementan drásticamente la eficiencia del sistema.

La eficiencia de modulación η_{MOD} , corresponde al número de bits transportados por un símbolo de la constelación la tabla 4, representa las eficiencias de modulación dentro del sistema DVB-S2. (p.28).

Tabla 4: Eficiencias de modulación del sistema DVB-S2

Esquema de modulación	Eficiencia de modulación η_{MOD} [bits/símbolo]
QPSK	2
8PSK	3
16APSK	4
32APSK	5

Fuente:http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/302307/01.02.01_60/en_302307v010201p.pdf

2.4.11 Rendimiento de DVB-S2 ante errores

Valenzuela Quintanilla J.P (2010). En su tesis muestra la tabla 5, tomada de la página de DVB-S2 la cual muestran los requerimientos de E_b/N_0 para el canal Outbound DVB-S2 que utilizo para su análisis.

Tabla 5: Rendimiento Es/No para un $PER^4 = 10^{-7}$, a un nivel Casi Libre de Errores (Canal AWGN).

Modulación	Codificación (FEC)	Eficiencia Espectral	Es/No requerido	Eb/No Requerido
QPSK	1/4	0.490243	-2.35	0.75
QPSK	1/3	0.656448	-1.24	0.59
QPSK	2/5	0.789412	-0.30	0.73
QPSK	1/2	0.988858	1.00	1.05
QPSK	3/5	1.188304	2.23	1.48
QPSK	2/3	1.322253	3.10	1.89
QPSK	3/4	1.487473	4.03	2.31
QPSK	4/5	1.587196	4.68	2.67
QPSK	5/6	1.654663	5.18	2.99
QPSK	8/9	1.766451	6.20	3.73
QPSK	9/10	1.788612	6.42	3.89
8PSK	3/5	1.779991	5.50	3.00
8PSK	2/3	1.980636	6.62	3.65
8PSK	3/4	2.228124	7.91	4.43
8PSK	5/6	2.478562	9.35	5.41
8PSK	8/9	2.646012	10.69	6.46
8PSK	9/10	2.679207	10.98	6.70
16APSK	2/3	2.637200	8.97	4.76
16APSK	3/4	2.966720	10.21	5.49
16APSK	4/5	3.165620	11.03	6.03
16APSK	5/6	3.300180	11.61	6.42
16APSK	8/9	3.523140	12.89	7.42
16APSK	9/10	3.567300	13.13	7.61
32APSK	3/4	3.703290	12.73	7.04
32APSK	4/5	3.951570	13.64	7.67
32APSK	5/6	4.119540	14.28	8.13
32APSK	8/9	4.397850	15.69	9.26
32APSK	9/10	4.453000	16.05	9.56

Fuente:http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/302307/01.02.01_60/en_302307v010201p.pdf

Para la elaboración de los cálculos de enlace se tomaron en cuenta las cuatro constelaciones de modulación disponibles. Por el contrario no se tomará en cuenta la codificación 1/4, 1/3 y 2/5 puesto que son poco eficientes (eficiencia menor a 0.9, en un canal casi libre de errores).

Además se aprecia que el enlace puede operar inclusive con rango de Es/No de -2.35 dB, inferiores al piso de ruido, con una modulación de QPSK y una codificación de 1/4, 1/3 y 2/5, sin embargo no las considero en el análisis puesto que no son eficientes. (p.77).

Nota: Dada una eficiencia espectral del sistema η_{TOT} , la relación entre la Energía por bit de información y la densidad espectral de potencia de ruido es:

$$\frac{Eb}{No} \text{ [dB]} = \frac{Es}{No} \text{ [dB]} - 10 \log (\eta_{TOT}) \text{ [dB]}$$

Donde Eb/No constituye la relación entre la energía por bit de información transmitido respecto a la densidad de potencia de ruido. Esta relación se la expresa en decibeles [dB]. Además, η_{TOT} corresponde a la eficiencia espectral, la cual corresponde a la relación entre la tasa de bits (R_U) y la tasa de símbolos (R_S) de la señal.

Es/No [dB] ideal se obtuvo mediante simulaciones de computadora realizadas por el grupo DVB, utilizando recuperación de sincronización y de portadora perfecta, sin ruido de fase, en un canal AWGN = 10 Mbps, La tabla 5, resume los requerimientos de rendimiento a un nivel casi libre de errores (QEF) sobre una canal AWGN³, en el que Es representa la energía promedio por símbolo transmitido.

2.4.12 Relación Es/No

Valenzuela Quintanilla J.P (2010). Menciona que en esta relación, el parámetro Es indica la energía promedio por símbolo transmitido, El término No se denomina densidad de potencia de ruido, y representa la cantidad de ruido presente en un ancho de banda de 1 Hertz. Se mide en [W/Hz].

Por lo tanto, el término Es/No mide la relación entre la energía por símbolo transmitido y la densidad de potencia de ruido. Se la expresa en decibel [dB]. Además, el estándar DVB-S2 define que, dada una eficiencia espectral del sistema η_{TOT} , la relación entre la energía por bit de información y la densidad espectral de potencia de ruido Eb/No es como se muestra en tabla 5.

También, η_{TOT} corresponde a la eficiencia espectral, la cual corresponde a la relación entre la tasa de bits (R_u) y la tasa de símbolos (R_s) de la señal. (p.33).

$$\eta_{TOT} = \frac{R_u}{R_s} [(b/s)/Hz]$$

2.5 Óptica de la Investigación

El trabajo está enfocado en la optimización de un sistema de comunicaciones por satélite con el uso de una plataforma O3b y el uso de técnicas de modulación y codificación adaptiva ACM buscando que mejorar el rendimiento en cuanto a la relación ancho de banda – velocidad disponible y disminuir la latencia.

2.6 Selección de Variables

2.6.1 Variable Dependiente

- Sistema de Comunicación por Satélite

2.2.1 Variables Independientes

- Plataforma O3b
- Modulación y Codificación Adaptiva

CAPÍTULO III: DISEÑO DE INGENIERÍA

3.1 Marco Empírico

La presente tesis se realizó como una investigación a nivel explicativo, es decir, nos acercamos a un problema, lo describimos, intentaremos encontrar las causas del mismo y plantearemos una alternativa de solución a nivel de ingeniería aplicada.

3.2 Instrumentos

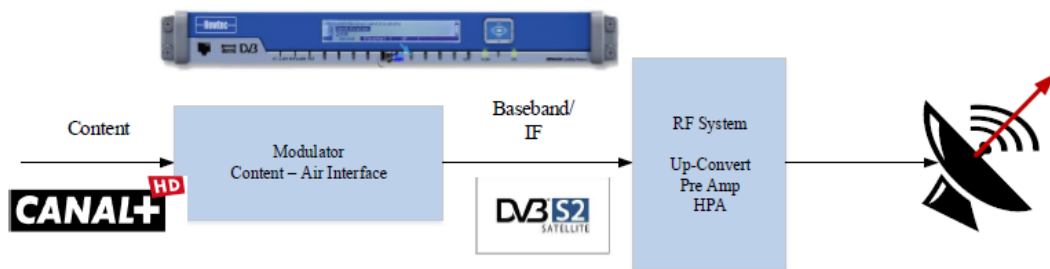
Se emplearán los siguientes equipos:

- Antena Banda Ka 1.2m, fija. (Ver anexo 1)
- Sistema de auto tracking para antena de 1.2m. (Ver anexo 2)
- LNB banda Ka triple banda. (Ver anexo 5)
Antenna 9000HT-3 Ka PLL TRIPLE BAND - Norsat International
- Modem O3b. (Ver anexo 4)
- Amplificador de potencia Ka band. (Ver anexo 6)

3.2.1 Enlace ascendente

La figura 30, muestra el enlace ascendente usando algoritmos avanzados en el Modulador/Demodulador

- Modulador Content – Air Interface
- Algoritmos avanzados en el Modulador / Demodulador
- RF System Up – converter Pre Amp HPA
- Antena Banda Ka 1.2m, fija
- Fuente de Poder



Similar system for receiving from satellite

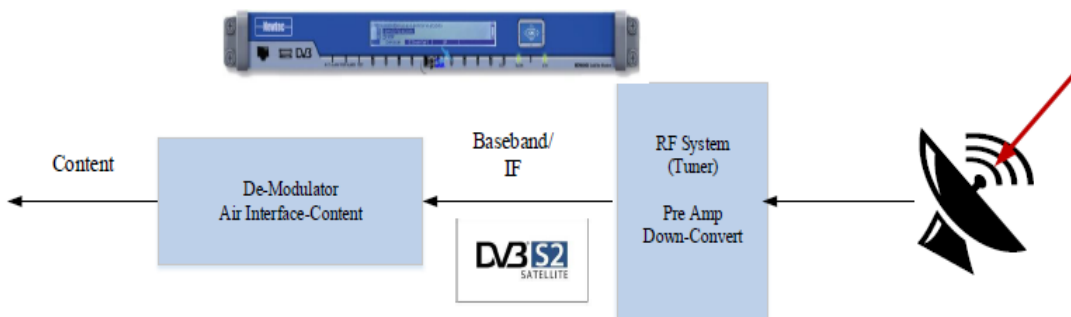
Figura N° 30: Segmento en tierra y sus funcionalidades Uplink

Fuente: http://ece.iisc.ernet.in/~spcom/2016/Presentations/tutorial_Satellite_Communications.pdf

3.2.2 Enlace descendente

La figura 31, muestra el enlace descendente usando algoritmos avanzados en el Modulador/Demodulador

- Demodulador Air Interface – Content
- Algoritmos avanzados en el Modulador / Demodulador
- RF System (Tuner) Pre Amp Down – Convert
- Antena Banda Ka 1.2m, fija
- Fuente de Poder



Similar system for transmitting to satellite

Figura N° 31: Segmento en tierra y sus funcionalidades Downlink

Fuente: http://ece.iisc.ernet.in/~spcom/2016/Presentations/tutorial_Satellite_Communications.pdf

3.3 Diseño y optimización

Para la presente optimización del rendimiento de un sistema satelital de Telecomunicaciones analizaremos los cálculos obtenidos en base al uso de la banda Ka en plataforma O3b y la banda Ku sobre GEO y se vera de manera experimental la diferencia de valores con respecto a ambos sistemas.

3.3.1 Ganancia de antena

Se refiere a la relación que existe entre la potencia radiada por una antena isotrópica a una distancia y la densidad de potencia que radiaría la misma antena pero en una sola dirección, con igual cantidad de potencia entregada.

La tabla 6, nos muestra las frecuencias usadas en subida y bajada para la banda Ka y banda Ku.

Tabla 6: Enlaces de subida y bajada de las bandas Ka y Ku.

Banda	Anchura GHz	F. Bajada GHz	F. Subida GHz
Ku	2,0	10,7 – 12,75	13,0 – 15,0
Ka	3-4	17,7 – 21,7	27,5 – 30,5

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la tabla 6, dentro de la banda Ka emplearemos:

Frecuencia de Uplink \longrightarrow 28 GHz

Frecuencia de Downlink \longrightarrow 18 GHz

De acuerdo a la tabla 6, dentro de la banda Ku emplearemos:

Frecuencia de Uplink \longrightarrow 14 GHz

Frecuencia de Downlink \longrightarrow 11 GHz

3.3.2 Ancho de haz media potencia (HPBW)

Hay algunos parámetros que ayudan a comparar los patrones de radiación y están definidos como sigue:

Ancho de haz entre los primeros nulos (FNBW): Es el tamaño angular del lóbulo principal.

Ancho de haz de media potencia (HPBW): medida angular en la cual se radia el 50% de la potencia, de igual manera se muestra en la figura 32:

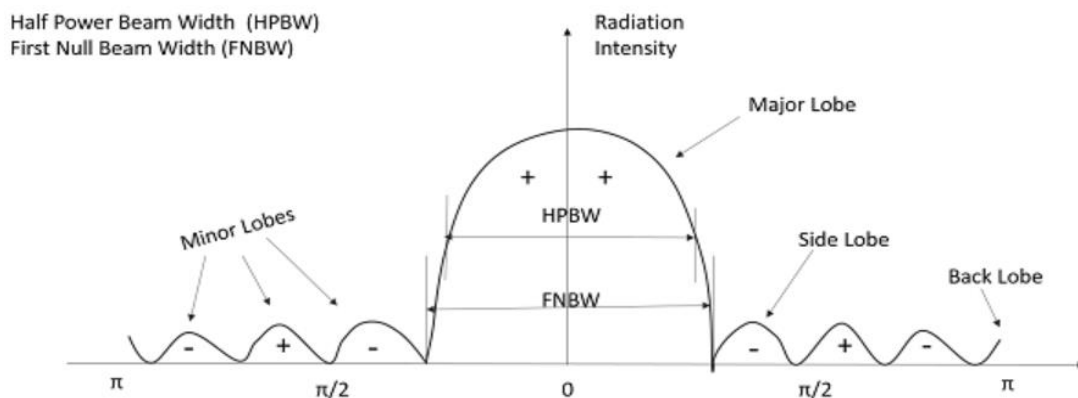


Figura N° 32: Ancho de haz HPBW

Fuente: http://www.w3ii.com/es/antenna_theory/antenna_theory_beam_width.html

$$G_{\text{sat}} = \frac{4\pi}{\text{HPBW}^2} \quad (\alpha)$$

$$G_{\text{term}} = \frac{4\pi A_{\text{ef}} F^2}{c^2}$$

$$A_{\text{efectiva}} = n \times A_{\text{física}} \longrightarrow n = \text{eficiencia} = 0.65 \quad (1)$$

$$\text{Para: } D = 1.2 \text{ m} \longrightarrow A_{\text{física}} = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 = 15.13 \text{ m}^2 \quad (2)$$

G = ganancia de potencia (no en dB)

n = eficiencia

λ = longitud de onda de espacio libre

D = diámetro del plato

$$G_{\text{term}} = n \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (3)$$

$$\lambda_{\text{m Ka}} = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{28 \times 10^9} = 0.0107 \text{ m} \quad (4)$$

(1), (2), (4) en (3)

$$G_{\text{term Ka}} = 0.65 \left(\frac{\pi \times 1.2}{0.0107} \right)^2 = 80,687.83 \quad (5)$$

$$G_{\text{dB term Ka}} = 49.06 \text{ db} \quad (\text{a1})$$

$$\lambda_{\text{m Ku}} = \frac{3 \times 10^8}{14 \times 10^9} = 0.02142 \text{ m} \quad (6)$$

(1), (2), (6) en (3)

$$G_{\text{term Ku}} = 0.65 \left(\frac{\pi \times 1.2}{0.02142} \right)^2 = 20,134.3 \quad (7)$$

$$G_{\text{dB term Ku}} = 43.03 \text{ dB} \quad (\text{a2})$$

La ganancia en decibelios de los terminales en la banda Ka es mayor al de la banda Ku, debido a su mayor frecuencia y distancia respecto a la tierra.

Calculando G_{sat} con la banda Ka:

La figura 33, nos muestra la distancia del satélite a la tierra en la órbita MEO.

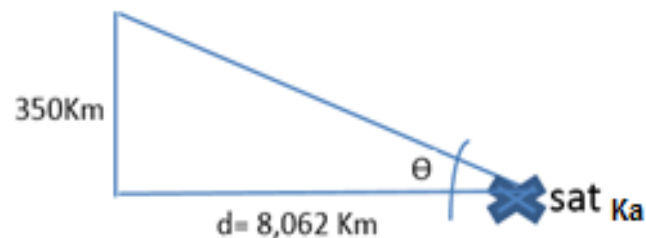


Figura N°33: Distancia de la MEO para banda Ka
Fuente: Elaboración Propia

De la figura: $\text{tg } \Theta = 350/8062 = 0.0434$

$$\Theta = 2.48^\circ$$

$$360^\circ \longrightarrow \pi$$

$$2.48^\circ \longrightarrow 0.006905 \pi$$

De (α)

$$G_{\text{sat}} = \frac{4 \pi}{(0.006905 \pi)^2} = 2,6703$$

$$G_{\text{sat Ka}} = 44.26 \text{ dB}$$

($\beta 1$)

Calculando G_{sat} con la banda Ku

La figura 34, nos muestra la distancia del satélite a la tierra en la órbita GEO

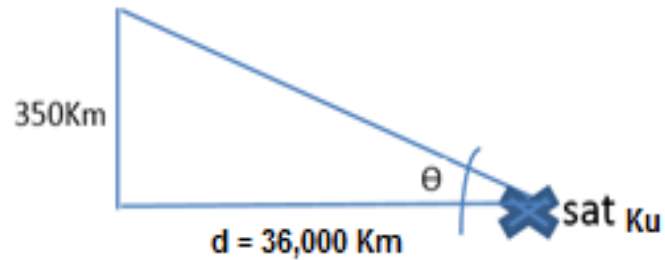


Figura N° 34: Distancia de la GEO para banda Ku
Fuente: Elaboración Propia

De la figura: $\text{tg } \theta = 350/36000=0.00972$

$$\theta = 0.557^\circ$$

$$360^\circ \longrightarrow \pi$$

$$2.48^\circ \longrightarrow 0.00154 \pi$$

De (α)

$$G_{\text{sat}} = \frac{4 \pi}{(0.00154 \pi)^2} = 53182.55$$

$$G_{\text{sat Ku}} = 55.258 \text{ dB}$$

($\beta 2$)

la ganancia en decibelios del satélite en la banda Ku es mayor al de la banda Ka, debido a su mayor alcance de emisión de potencia, esto se verificará más adelante cuando determinemos el Angulo de media potencia que deberá ser mayor en la banda Ku.

3.3.3 Cálculo del PIRE

La Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE), es la cantidad de potencia que emitiría una antena isotrópica teórica (es decir, aquella que distribuye la potencia exactamente igual en todas las direcciones) para producir la densidad de potencia observada en la dirección de máxima ganancia de una antena.

Al producto $P_T \times G_T$ se le designa como potencia isotrópica radiada efectiva o simplemente PIRE.

$$\text{PIRE} = P_t \times G_{\text{term}} \quad (8)$$

Para la banda Ka: (5) en (8)

$$\text{PIRE}_1 = 5 \times 80,687.83 = 403,439 \text{ Kw}$$

$$\text{PIRE}_2 = 10 \times 80,687.83 = 806,878 \text{ Kw}$$

$$\text{PIRE}_3 = 20 \times 80,687.83 = 1'613,756.6 \text{ Kw}$$

Para la banda Ku: (7) en (8)

$$\text{PIRE}_1 = 5 \times 20,134.3 = 100,671.5 \text{ Kw}$$

$$\text{PIRE}_2 = 10 \times 20,134.3 = 201,343 \text{ Kw}$$

$$\text{PIRE}_3 = 20 \times 20,134.3 = 402,686 \text{ Kw}$$

El PIRE en la banda Ka es mucho mayor al de la banda Ku ya que al estar más cerca de la tierra, la potencia radiada en un área específica es mayor.

3.3.4 Cálculo de la atenuación por espacio libre

Las pérdidas de potencia más grandes en un enlace satelital ascendente o descendente se deben a la enorme distancia que hay entre el satélite y las estaciones terrenas.

A dicha disminución de potencia debido a la distancia viajada por una señal portadora se le refiere como atenuación por propagación en el espacio libre que en realidad se trata del inverso de la atenuación.

$$A_{e.l} = \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 \quad (9)$$

r = distancia entre las antenas (en metros)

λ = longitud de onda con la que se establece el enlace (en metros)

$$A_{e.l \text{ tx}} = \left(\frac{4\pi r}{\lambda_{Tx}} \right)^2 \text{ (Atenuación por espacio libre de transmisión)}$$

$$A_{e.l \text{ Rx}} = \left(\frac{4\pi r}{\lambda_{Rx}} \right)^2 \text{ (Atenuación por espacio libre de recepción)}$$

La figura 35, nos muestra la atenuación por espacio libre en transmisión y recepción

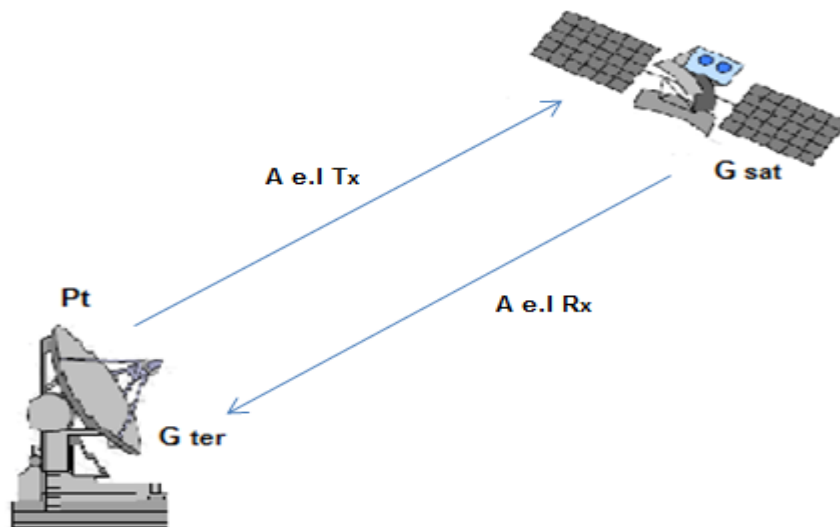


Figura N° 35: Atenuación por espacio libre en Tx y Rx
Fuente: Elaboración Propia

Para la banda Ka:

$$A_{e.l \text{ Transmisión}}: \lambda_{Tx} = \frac{3 \times 10^8}{28 \times 10^9} = 0.0107 \text{ m} \quad (10)$$

De las figuras 33 y 34:

Figura 33: $r_{Ka} = 8062 \text{ km}$

Figura 34: $r_{Ku} = 36000 \text{ km} \quad (11)$

(10), (11) en (9)

$$A \text{ e.l transmisión} = \left(\frac{4\pi \times 8,062,000}{0.0107} \right)^2 = 199.52 \text{ dB} \quad (b)$$

$$A \text{ e.l Recepción: } \lambda_{Rx} = \frac{3 \times 10^8}{18 \times 10^9} = 0.0166 \text{ m} \quad (12)$$

(11), (12) en (9)

$$A \text{ e.l Recepcion} = \left(\frac{4\pi \times 8,062,000}{0.0166} \right)^2 = 195.71 \text{ dB} \quad (d)$$

Para la banda Ku:

$$A \text{ e.l Transmisión: } \lambda_{Tx} = \frac{3 \times 10^8}{14 \times 10^9} = 0.0214 \text{ m} \quad (13)$$

(11), (13) en (9)

$$A \text{ e.l transmisión} = \left(\frac{4\pi \times 36,000,000}{0.0214} \right)^2 = 206.5 \text{ dB} \quad (c)$$

$$A \text{ e.l Recepción: } \lambda_{Rx} = \frac{3 \times 10^8}{11 \times 10^9} = 0.0272 \text{ m} \quad (14)$$

(11), (14) en (9)

$$A \text{ e.l Recepcion} = \left(\frac{4\pi \times 36,000,000}{0.0272} \right)^2 = 204.41 \text{ dB} \quad (e)$$

Tanto en la banda Ka como en la banda Ku, la potencia de transmisión es mayor que la de recepción

3.3.5 Cálculo de la Potencia recibida por el satélite

$$\text{Potencia recibida } C = \frac{(\text{PIRE})(G_t)}{A \text{ e.l}} \text{ W}$$

Esta ecuación en decibeles se escribe como sigue:

$$C_{dBW} = \text{PIRE}_{dBW} + G_{\text{sat}} \text{ dB}_i - A \text{ e.l tx dB} \quad (15)$$

Para la banda Ka: (8), (b), (β_1) en (15)

$$C_{dBW1} = 10 \log(403,439) + 44.26 \text{ dB} - 199.52 \text{ dB} = -99.2 \text{ dBW}$$

$$C_{dBW2} = 10 \log(806,878) + 44.26 \text{ dB} - 199.52 \text{ dB} = -96.19 \text{ dBW}$$

$$C_{dBW3} = 10 \log(1'613,757) + 44.26 \text{ dB} - 199.52 \text{ dB} = -93.18 \text{ dBW}$$

Para la banda Ku: (8), (c), (β_2) en (15)

$$C_{dBw1} = 10 \log (100671.5) + 55.258 \text{ dB} - 206.5 = -101.21 \text{ dBw}$$

$$C_{dBw2} = 10 \log (201343) + 55.258 \text{ dB} - 206.5 = -98.2 \text{ dBw}$$

$$C_{dBw3} = 10 \log (402686) + 55.258 \text{ dB} - 206.5 = -95.19 \text{ dBw}$$

Potencia recibida por el satélite en banda Ka es mayor a Ku esto a causa de la Distancia del satélite con respecto a tierra

3.3.6 Cálculo del PIRE del satélite

$$PIRE_{sat} = (P_{\text{Transpondedor}}) G_{sat} \quad \text{o} \quad PIRE_{sat} \text{ dB} = 10 \log (P_{\text{Transpondedor}}) + G_{sat} \text{ dB}$$

$$P_{T \text{ Transpondedor}} = 65 \text{ w} \longrightarrow \text{(Proveniente de un TWTA)}$$

Para Banda Ka, de (β_1)

$$PIRE_{SAT} = 18.13 \text{ dB} + 44.26 \text{ dB}$$

$$PIRE_{SAT \text{ ka}} = 62.39 \text{ dB}$$

Para Banda Ku, de (β_2)

$$PIRE_{SAT} = 18.13 \text{ dB} + 55.258 \text{ dB}$$

$$PIRE_{SAT \text{ ku}} = 73.388 \text{ dB}$$

El PIRE del satélite es mayor en la banda Ku debido a la mayor distancia respecto a la tierra.

3.3.7 Cálculo de la potencia recibida de la portadora

$$C_{dBw \text{ bajada}} = PIRE_{sat} \text{ dB} + G_{term} \text{ dB} - A_{e.l} \text{ recepción} \quad (16)$$

Para la banda Ka: de (3.3.6), (a1), (d) en (16)

$$C_{dBw \text{ bajada}} = 62.39 \text{ dB} + 49.06 \text{ dB} - 195.71 \text{ dB}$$

$$C_{dBw \text{ bajada}} = -84.26 \text{ dBw}$$

Para la banda Ku: de (3.3.6), (a2), (e) en (16)

$$C_{dBw} \text{ bajada} = 73.388 \text{ dB} + 43.03 \text{ dB} - 204.41 \text{ dB}$$

$$C_{dBw} \text{ bajada} = -87.992 \text{ dBw}$$

La potencia recibida por la portadora en la banda Ka es mayor que en la banda ku, debido a que el satélite está más cerca de la tierra que en la banda Ku y por ello la señal emitida por el satélite radia con más intensidad en su portadora.

3.3.8 Cálculo del ángulo de media potencia de la antenna del terminal

La ganancia de la antenna también se calcula a través del ancho del haz el cual es el ángulo a donde la potencia del lóbulo principal disminuye a la mitad del máximo en la dirección deseada también conocido como ángulo a tres decibeles, así se muestra en la figura 36, el ancho efectivo del lóbulo principal radiado por una antenna en una dirección.

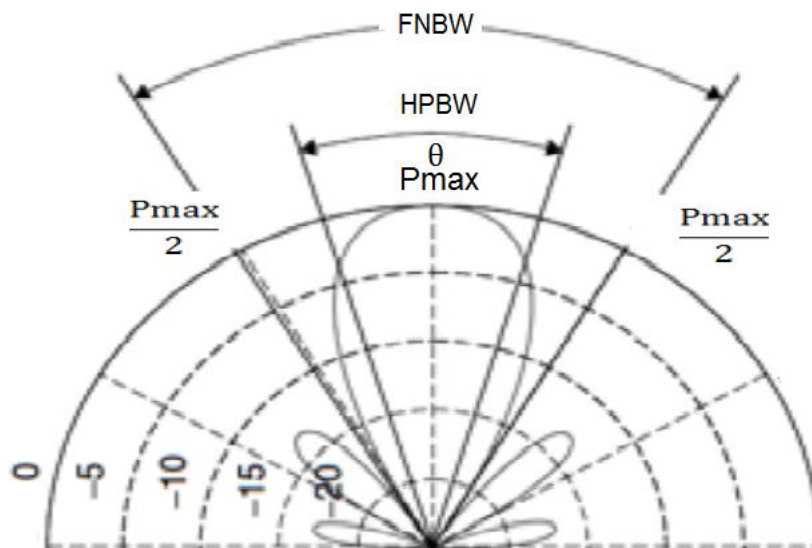


Figura N° 36: Angulo de media potencia de la antenna del terminal
Fuente: Elaboración Propia

$$\theta_{-3dB} = 75 \times \frac{\lambda}{D}$$

$$D = 1.2 \text{ m}$$

En recepción:
$$\theta_{-3dB Rx} = 75 \times \frac{\lambda_{Rx}}{D}$$

En transmisión: $\theta_{-3dB Tx} = 75 \times \frac{\lambda_{Tx}}{D}$

$\lambda_{TxKa} = 0.0107 \text{ m}$ $\theta_{-3dB Tx} = 0.668^\circ$

$\lambda_{RxBa} = 0.0166 \text{ m}$ $\theta_{-3dB Rx} = 1.0375^\circ$

$\lambda_{TxKu} = 0.02142 \text{ m}$ $\theta_{-3dB Tx} = 1.338^\circ$

$\lambda_{RxBu} = 0.072 \text{ m}$ $\theta_{-3dB Rx} = 4.5^\circ$

Notamos que mientras mayor sea la longitud de onda mayor será el ángulo obtenido, por ello se verifica que en la banda Ku se obtiene un mayor ángulo de media potencia, y por tanto, mayor ganancia de satélite.

3.3.9 Cálculo de la densidad de ruido

La densidad de ruido se conoce como la cantidad de potencia de ruido normalizado a un ancho de banda de 1Hz, siendo esta la relación entre la potencia de ruido generada por un amplificador.

$$N_o = K T_r$$

$$C_r = \frac{T_r}{T_o} + 1 \quad T_o = 270^\circ \text{ K}$$

$$fr = 1.5 \text{ dB} \quad \leftrightarrow 1.41 \text{ (dato del manual)}$$

$$T_r = 110.7$$

$$N_o = 1.38 \times 10^{-23} \times 110.7$$

$$N_o = 1.52 \times 10^{-21} \text{ J} \frac{P_{max}}{2}$$

3.3.10 Cálculo de la Potencia total de ruido térmico

La potencia N del ruido producido por una fuente de ruido térmico puede ser calculada con la formula siguiente:

$$N = KTB \quad B = 216 \text{ MHz}$$

$$N_o = KT$$

K Constante de Boltzmann e igual a 1.38×10^{-23} W/K

T Temperatura de ruido equivalente

B Ancho de banda del transpondedor

La característica más importante de este ruido térmico es que tiene una distribución plana en el espectro de frecuencias.

$$N = N_o \times B = 1.52 \times 10^{-21} \times 216 \times 10^6$$

$$N = 3.28 \times 10^{-13} \text{ W} \quad \langle \rangle 0.328 \text{ pw}$$

3.3.11 Cálculo de la figura de mérito del satélite

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{\text{sat}} \text{ dB/}^\circ\text{K} = \frac{T_r}{T_o} - \text{Perd. Conectores} \quad T_s = 600 \text{ }^\circ\text{K}$$

Para la banda Ka: de (a1)

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{\text{sat}} = 49.06 - 1 - 10 \log (600)$$

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{\text{sat}} = 20.28 \text{ dB/}^\circ\text{K} \quad (\text{b1})$$

Para la banda Ku: de (a2)

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{\text{sat}} = 43.03 - 1 - 10 \log (600)$$

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{\text{sat}} = 14.24 \text{ dB/}^\circ\text{K} \quad (\text{b2})$$

$$10 \log K = -228.6 \text{ dB/K}$$

3.3.12 Cálculo de portadora a densidad de ruido (C/N_o) subida

Es la relación de la potencia de portadora de banda ancha (potencia combinada de la portadora y sus bandas laterales asociadas) entre la densidad de ruido presente en un ancho de banda de 1Hz

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{\text{Subida}} = \text{PIRE dBw} - A_e I_{Tx} + \left(\frac{G}{T}\right)_{\text{sat}} - 10 \log K \quad (17)$$

Para la banda Ka: de (b), (b1) en (17)

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{\text{subida1}} = 10 \log (403,439) - 199.52 + 20.28 + 228.6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{\text{subida1}} = 105.41 \text{ dB Hz}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{\text{subida2}} = 10 \log (806,878) - 199.52 + 20.28 + 228.6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{\text{subida2}} = 108.43 \text{ dB Hz}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{\text{subida3}} = 10 \log (1'613,757) - 199.52 + 20.28 + 228.6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{\text{subida3}} = 111.44 \text{ dB Hz}$$

Para la banda Ku: de (c), (b2) en (17)

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{\text{subida1}} = 10 \log (100671.5) - 206.5 + 14.24 + 228.6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{\text{subida1}} = 86.37 \text{ dB Hz}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{\text{subida2}} = 10 \log (201343) - 206.5 + 14.24 + 228.6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{\text{subida2}} = 89.38 \text{ dB Hz}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{\text{subida3}} = 10 \log (402686) - 206.5 + 14.24 + 228.6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{\text{subida3}} = 93.39 \text{ dB Hz}$$

Debido a que recibe una mayor cantidad de potencia, la portadora en la banda Ka tendrá más interferencias, por tanto mayor densidad de ruido.

3.3.13 Cálculo de la atenuación por lluvia

Cuando llueve en zonas donde se tiene instalada una estación terrena, ya sea transmisora o receptora, las señales portadoras son atenuadas conforme se propagan a través de la región del aire en donde este lloviendo.

La distancia total D de las señales que viajan a través del fenómeno meteorológico depende de la altura h_R de las nubes con relación al piso y del ángulo de elevación θ de la antena de la estación.

Las gotas de lluvia absorben energía al ser calentadas por las señales de microondas, y conforme la longitud de onda se hace comparable al tamaño de las gotas, el efecto es más severo, causando mayor atenuación en la banda Ka ($\lambda=1\text{cm}$ a 30 GHz).

Miami: Zona N

Lurín: Zona E

Hawái: Zona N

Isla Margarita: Zona N

Isla de pascua: Zona E

La figura 37, muestra el enlace satelital entre el satélite y la estación terrena y el ángulo de inclinación de la antena.

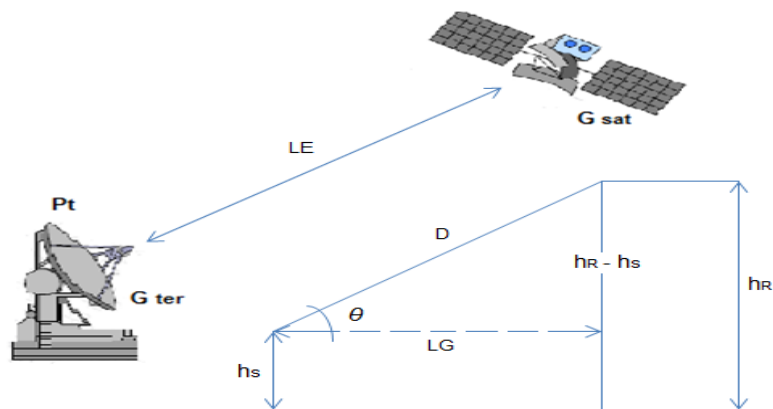


Figura N° 37: Enlace entre el satélite y la estación Terrena
Fuente: Elaboración Propia

- h_R: Altura efectiva de lluvia (km)
- h_s: Altitud de la estación terrestre (km)
- D: Longitud del trayecto oblicuo (km)
- Θ: Ángulo de inclinación (grados)
- LG: Longitud de proyección horizontal (Km)
- L_E: Longitud efectiva (Km)

Del Gráfico:

$$h_R = 3 + 0.028\ell$$

ℓ = Latitud de ubicación del terminal

$$D = \frac{(h_R - h_s)}{\text{Sen } \Theta} \text{ Km}$$

$$LG = D \text{ Cos } \Theta$$

Considerando que todas las islas y ciudades llegan a esta con 200 mm por hora. En la tabla 7, se muestra la atenuación por lluvia para cada TSI.

$$\text{Atenuación por lluvia } ALL = KR^\alpha \text{ dB/KM}$$

Tabla 7: Atenuación por lluvia para cada TSI

	ℓ	H _R KM	H _s KM	H _R – H _s KM	Θ	D KM
Hawái	19°	3.532	0.132	3.4	66.14°	3.72
Miami	25°	3.70	0.001	3.6999	64.28°	4.11
Isla de Pascua	27°	3.756	0.177	3.579	65.32°	3.94
Isla Margarita	11°	3.308	0.533	2.775	8.87°	2.97
Lurín	12°	3.336	0.009	3.327	68.382°	3.57

Fuente: Elaboración Propia

3.3.14 Cálculo de la atenuación de subida y bajada

Cuando llega a llover en la zona donde está instalada una estación terrena, ya sea transmisora o receptora, las señales portadoras son atenuadas conforme se propagan a través de la región del aire en donde este lloviendo a la distancia total D y que las señales viajan a través del fenómeno meteorológico depende de la altura h de las nubes con relación al piso y del ángulo de elevación θ .

$$All_{subida} = 30 \text{ dB}$$

$$All_{bajada} = 18 \text{ dB}$$

Para la banda Ka:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{subida\ lluvia} = \left(\frac{C}{N_o}\right)_{Subida} - All_{Subida}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{subida1\ lluvia} = 105.41 - 30 = 75.41 \text{ dB Hz}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{subida2\ lluvia} = 108.43 - 30 = 78.43 \text{ dB Hz}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{subida3\ lluvia} = 111.44 - 30 = 81.44 \text{ dB Hz}$$

Para la banda Ku:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{subida1\ lluvia} = 86.37 - 30 = 56.37 \text{ dB Hz}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{Subida2\ lluvia} = 89.38 - 30 = 59.38 \text{ dB Hz}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{Subida3\ lluvia} = 93.39 - 30 = 63.39 \text{ dB Hz}$$

3.3.15 Cálculo de (C/N_o) bajada

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{bajada} = PIRE_{sat} - Ae.l_{Rx} + \left(\frac{G}{T}\right)_{term} - 10 \log K \quad (19)$$

Del manual: $G = 49.40 \text{ dB}$

La tabla 8, muestra los cálculos de la figura de mérito tomando como dato $G = 49.40 \text{ dB}$; para cada TSI.

Tabla 8: Calculo de (G/T) bajada

Ciudad	Temperatura de Ruido	G/T
Hawái	60°K	31.62 dB/K
Miami	55°K	31.99 dB/K
Isla de pascua	60°K	31.62 dB/K
Isla Margarita	62°K	31.47 dB/K
Lurín	61°K	31.54 dB/K

Fuente: Elaboración Propia

Para la banda Ka: de (3.3.6), (d)

En la tabla 9, se muestran los cálculos de (C/N_o) bajada para la banda Ka

$$PIRE_{\text{sat}} = 62.39 \text{ dBW}$$

$$A_{e.l.Rx} = 195.71 \text{ dBW}$$

$$G/T = \text{segun tabla 8}$$

$$10 \log K = - 228.6$$

Tabla 9: Calculo de (C/N_o) bajada para Ka

Ciudad	(C/N _o) bajada
Hawái	126.9 dB Hz
Miami	127.27 dB Hz
Isla de pascua	126.9 dB Hz
Isla Margarita	126.75 dB Hz
Lurín	126.82 dB Hz

Fuente: Elaboración Propia

Para la banda Ku: de (3.3.6), (e),

En la tabla 10, se muestran los cálculos de (C/N_o) bajada para la banda Ku.

$$PIRE_{sat} = 73.388 \text{ dBW}$$

$$A_{e.l Rx} = 191.421 \text{ dBW}$$

G/T = según tabla 8.

$$10 \log K = -228.6$$

Tabla 10: Cálculo de (C/N_o) bajada para Ku

Ciudad	(C/N_o) bajada
Hawái	142.187 dB Hz
Miami	142.557 dB Hz
Isla de pascua	142.187 dB Hz
Isla Margarita	142.037 dB Hz
Lurín	142.107 dB Hz

Fuente: Elaboración Propia

3.3.16 Cálculo de (C/N_o) bajada lluvia

Considerando $A_{ll bajada} = 18 \text{ dB}$

En la tabla 11, se muestran los cálculos de (C/N_o) bajada lluvia para la banda Ka.

Tabla 11: Cálculo de (C/N_o) bajada lluvia para Ka

Ciudad	(C/N_o) bajada lluvia
Hawái	108.9 dB Hz
Miami	109.27 dB Hz
Isla de pascua	108.9 dB Hz
Isla Margarita	108.75 dB Hz
Lurín	108.82 dB Hz

Fuente: Elaboración Propia

Para la banda Ku:

En la tabla 12, se muestran los cálculos de (C/N_o) bajada lluvia para la banda Ku.

Tabla 12: Cálculo de (C/N_o) bajada lluvia para Ku

Ciudad	(C/N _o) bajada lluvia
Hawái	124.187 dB Hz
Miami	124.557 dB Hz
Isla de pascua	124.187 dB Hz
Isla Margarita	124.037 dB Hz
Lurín	124.107 dB Hz

Fuente: Elaboración Propia

3.3.17 Cálculo del tiempo de retardo y latencia

El sistema O3b trabaja en red tipo estrella, es decir, obligatoriamente la comunicación de ida y vuelta entre las terminales satelitales interactivas pasa a través de un Gateway

3.3.18 Tiempo de retardo

Aún cuando las señales de radio viajan a la velocidad de la luz, para ciertas aplicaciones (como telefonía y sistemas interactivos de alta velocidad) puede ser importante el tiempo total que la señal tarda en subir desde la tierra hacia el satélite y viceversa. Este tiempo es calculado con la formula abajo mencionada

$$t = \frac{S}{c} \text{ seg}$$

Donde S es el rango o distancia en Km entre la estación terrena transmisora o receptora y el satélite, y C es la velocidad de la luz (299,792 Km/s).

La figura 38, muestra el tiempo de retardo t_1 (entre el TSI1 y el Gateway)

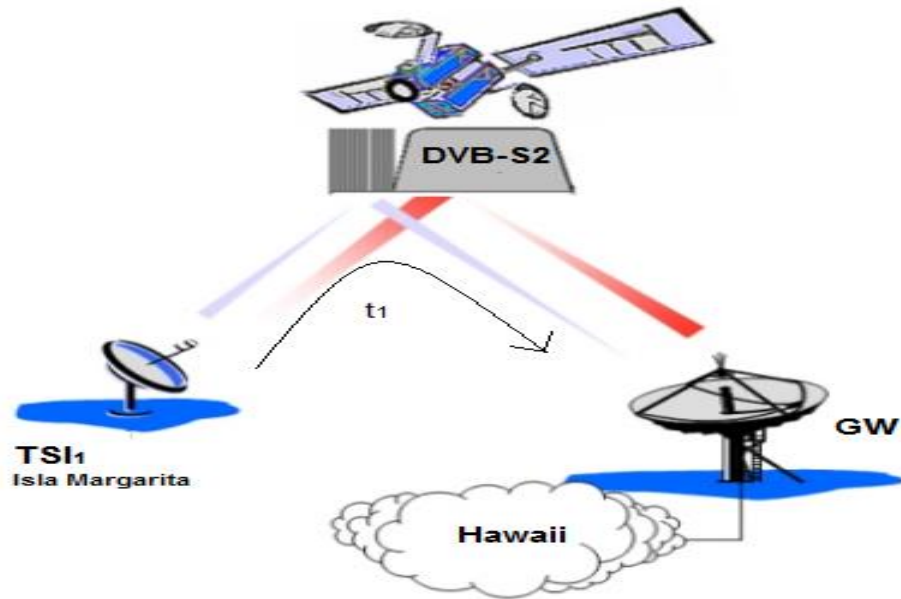


Figura N° 38: Tiempo de retardo t_1 (entre el TSI1 y el Gateway)
Fuente: Elaboración Propia

En banda Ka:

$$t1_{Ka} = \frac{8062 \times 10^3 \times 2}{2.99792 \times 10^8} = 53.78 \text{ ms}$$

$$t1_{Ka} = 53.78 \text{ ms}$$

$$t2_{Ka} = 53.78 \text{ ms}$$

En banda Ku:

$$t1_{Ku} = \frac{36000 \times 10^3 \times 2}{2.99792 \times 10^8} = 240.16 \text{ ms}$$

$$t1_{Ku} = 240.16 \text{ ms}$$

$$t2_{Ku} = 240.16 \text{ ms}$$

La figura 39, nos muestra el tiempo de retardo t_2 entre el Gateway y el TSI2

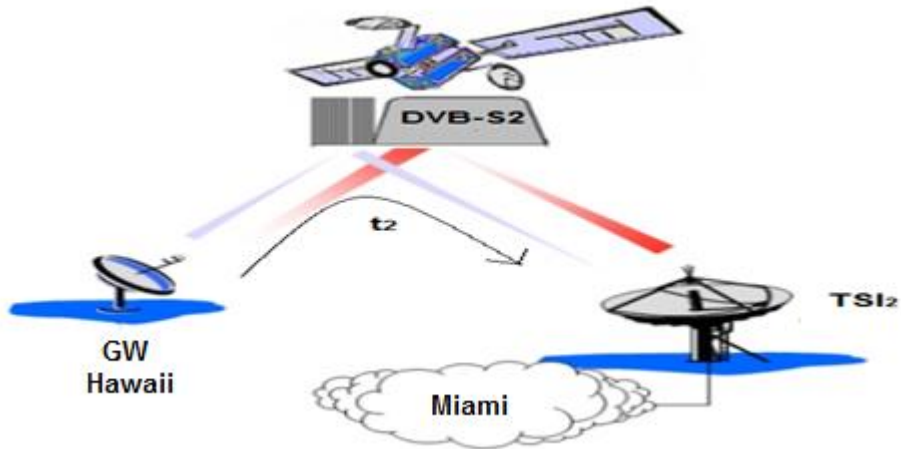


Figura N° 39: Tiempo de retardo t_2 (entre el Gateway y el TSI2)
Fuente: Elaboración Propia

3.3.19 Esquema de comunicación

La figura 40, muestra el esquema de comunicación entre TSI1, GW y TSI2

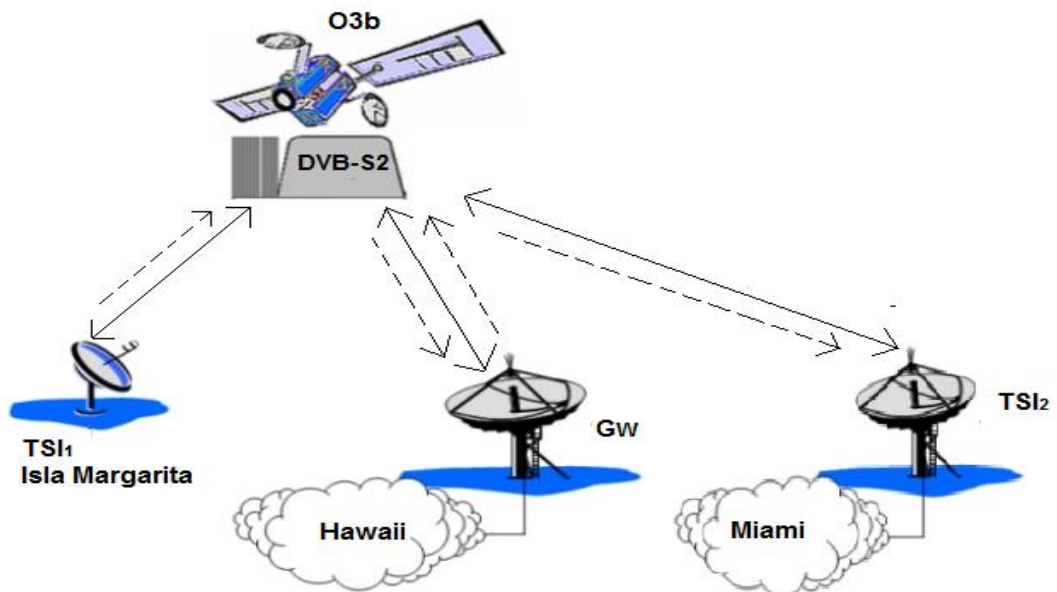


Figura N° 40: Esquema de comunicación de los TSI
Fuente: Elaboración Propia

TSI1 Isla Margarita.....Flujo de TSI1 hacia TSI2

En banda Ka el Tiempo total de retardo = $t = t_{1_{Ka}} + t_{2_{Ka}} = 107.56 \text{ ms}$

$$t = 107.56 \text{ ms}$$

En banda Ku el Tiempo total de retardo = $t = t_{1_{Ku}} + t_{2_{Ku}} = 480.33 \text{ ms}$

$$t = 480.33 \text{ ms}$$

Tiempo terrestre:

Considerando $d_t = 5\text{Km}$

$d_t =$ distancia terrestre

$$t_{\text{terrestre ms}} = 12 + 0.004 \times 5000 = 32 \text{ ms}$$

3.3.20 Cálculo de la latencia

$$\text{Latencia} = t + t_{\text{terrestre}} \times 2 = 171.56 \text{ ms (en banda Ka)}$$

$$\text{Latencia} = t + t_{\text{terrestre}} \times 2 = 544.33 \text{ ms (en banda Ku)}$$

Notamos que el retardo es mucho mayor en la banda Ku, debido a la distancia respecto a la tierra en comparación con la banda Ka

3.3.21 Cálculo del ancho de banda

Comunicación requerida entre estaciones es asimétrica con 20 Mbps en recepción y 10 Mbps en transmisión.

Calculo del requerimiento de $\left(\frac{Eb}{No}\right)$ para Hawái.

$$\left(\frac{C}{No}\right)_T = \left(\frac{Eb}{No}\right) + \underbrace{10 \log (\text{Vel})}_{\substack{\uparrow \\ 73 \text{ dB}}} \longrightarrow V = 20 \times 10^6$$

En banda Ka:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{T1} = 75.13 + 108.9 = 184.2 \text{ dB Hz}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{T2} = 78.13 + 108.9 = 187.2 \text{ dB Hz}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{T3} = 81.13 + 108.9 = 190.2 \text{ dB Hz}$$

Luego:

$$\left(\frac{Eb}{N_o}\right)_1 = 111.2 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{Eb}{N_o}\right)_2 = 114.2 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{Eb}{N_o}\right)_3 = 117.2 \text{ dB}$$

En banda Ku:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{T1} = 75.13 + 124.187 = 199.317 \text{ dB Hz}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{T2} = 78.13 + 124.187 = 202.317 \text{ dB Hz}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{T3} = 81.13 + 124.187 = 205.317 \text{ dB Hz}$$

Luego:

$$\left(\frac{Eb}{N_o}\right)_1 = 126.317 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{Eb}{N_o}\right)_2 = 129.317 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{Eb}{N_o}\right)_3 = 132.317 \text{ dB}$$

Las figuras 41,42,43,44,45 muestran las coordenadas referenciales de conexión con Hawái lugar donde se encuentra instalado uno de los gateway O3b.

Miami: Lat: O 80°11' 37"
 Lat: N 25°46' 27"

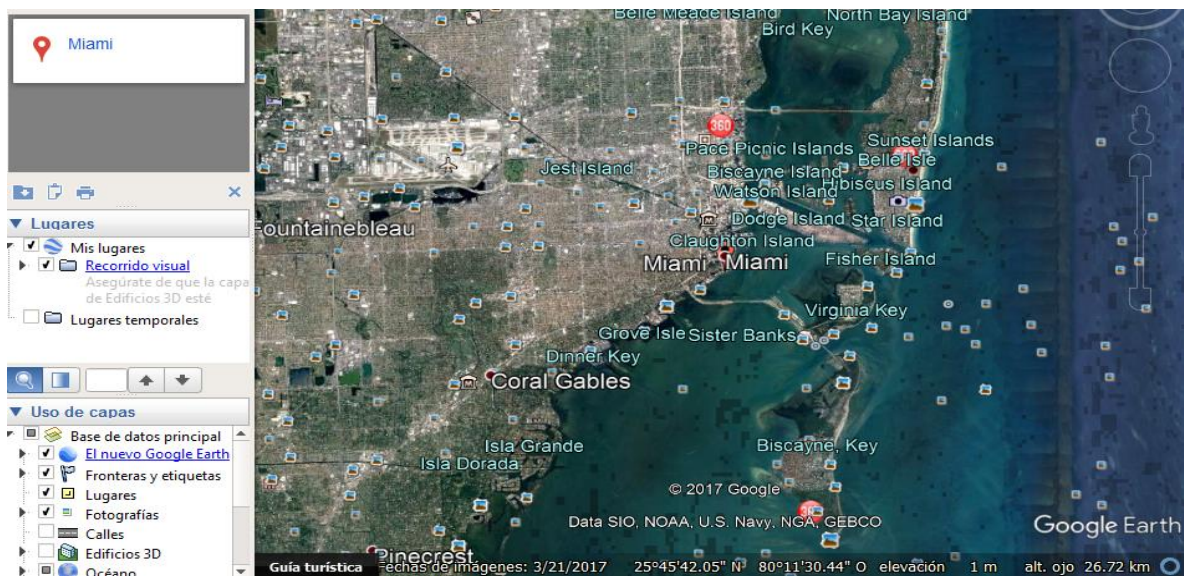


Figura N° 41: Coordenadas referenciales de Miami a Gateway
 Fuente: Google earth

Isla de Pascua: Lat: S 27°7'10"
 Lat: O 109°21'17"



Figura N° 42: Coordenadas referenciales de Isla de Pascua a Gateway
 Fuente: Google earth

Isla Margarita: Lat: N 11°54' 04"
Lat: O 65°55' 20"



Figura N° 43: Coordenadas referenciales de Isla de Margarita a Gateway
Fuente: Google earth

Lurín Lat: S 12°16'45"
Lat: O 76°52'30"



Figura N° 44: Coordenadas referenciales de Lurín a Gateway
Fuente: Google earth

Isla de Hawái: Lat: N 19°16' 18"
Lat: O 155°13' 06"



Figura N° 45: Coordenadas referenciales de la Isla de Hawái
Fuente: Google earth

CAPÍTULO IV: ASPECTOS ECONÓMICOS

4.1 Estructura de costos

En los aspectos económicos mostramos los equipos a utilizar y los costos de los mismos que se utilizaron en el análisis para la elección de la mejor solución, con la finalidad de probar la optimización del sistema de comunicación satelital usando tecnologías ACM, O3b y banda Ka.

4.2 Costos de inversión de un terminal satelital (Capex)

Los gastos para poder implementar el equipamiento por terminal satelital se pueden apreciar detalladamente en el tabla 13.

Tabla 13: Equipamiento por terminal satelital interactivo

ITEM	EQUIPAMIENTO POR TERMINAL SATELITAL INTERACTIVO	CANTIDAD	COSTO US\$
1	Antena Banda Ka 1.2m, fija	2	3.640,00
2	Sistema de autotracking para antena de 1.2m	2	4.900,00
3	LNB banda Ka triple banda	2	1700,00
4	MODEM O3b	1	5.660,00
	TOTAL US\$		15.900,00

Fuente: Elaboración Propia

4.3 Costos operativos de mantenimiento y servicios (Opex)

La tabla 14, nos muestra los costos de operación y mantenimiento de equipos anuales así como el alquiler del espacio O3b.

Tabla 14: Operación y mantenimiento

ITEM	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	COSTO ANUAL US\$
1	Terminal Satelital Interactivo incluyendo Antenas	6.000,00
2	Alquiler de Capacidad Espacial O3b	21.600,00
	TOTAL US\$	27.600,00

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 15, nos muestra los costos de servicio en la instalación de los equipos de telecomunicaciones O3b.

Tabla 15: Servicio

ITEM	SERVICIO	COSTO US\$
1	Instalación de Terminal Satelital Interactivo	1.000,00
2	Instalación de Sistema de Antena incluyendo auto tracking	1.400,00
3	Instalación de Sistema de Protección incluyendo puesta a tierra	850,00
	TOTAL US\$	3.250,00

Fuente: Elaboración Propia

4.4 Sistemas de protección

El objetivo del sistema de puesta a tierra es la protección del personal operativo, autorizado o no autorizado y la protección de los equipos de Telecomunicaciones y de informática de posibles descargas eléctricas y perturbaciones. Así mantener un equilibrio equipotencial entre la puesta a tierra de los equipos de Telecomunicaciones.

El sistema de puesta a tierra se diseñó para tener una resistencia menor de 5Ω . Los costos de este sistema se muestran en la tabla 16.

Tabla 16: Sistema de protección

ITEM	SISTEMA DE PROTECCIÓN	COSTO US\$
1	UPS	1.400,00
2	Tablero Eléctrico	850,00
3	Transformador de Aislamiento	740,00
4	Sistema de Puesta a Tierra	1.490,00
	TOTAL US\$	4.480,00

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

1. El problema de latencia nos lleva al estudio de satélites de alto rendimiento tipo MEO (Medium Earth Orbit) que trabajan en banda Ka, los cuales reducen la latencia de forma considerable con respecto a los sistemas GEO, resultados que mostramos en cálculos matemáticos en el capítulo III – 3.3.19 y 3.3.20 donde demostramos la diferencia de latencia entre la banda Ka y Ku, con esto se recomienda el uso del estándar como DVB-S2 que hace posible la correcta elección de parámetros de modulación y codificación con un esquema de tipo adaptativo ACM.
2. En esta tesis se analizó el estudio del estándar DVB-S2 por su funcionalidad de Modulación y Codificación Adaptativa con factores de lluvia que es el principal fenómeno que afecta a la banda Ka, en escenarios donde se analizó la atenuación por lluvia en (Uplink y Downlink) en especial en zonas tropicales. Así se observan los cálculos en el capítulo III – 3.3.14, donde se comprueba la atenuación en la banda Ka que es mucho mayor que en la banda Ku en condiciones de lluvia ya sea en Uplink o Downlink.
3. La limitación de la banda Ka dada la naturaleza de la longitud de onda que es muy pequeña así como se observa en los cálculos del capítulo III – 3.3.4, hace que sea altamente vulnerable a los efectos climatológicos como la lluvia especialmente en las zonas tropicales.
4. Para la optimización de este sistema de comunicación satelital usamos una antena O3b con un diámetro de 1.2 m y calculamos la ganancia del terminal usando banda Ka, la cual se muestra en el capítulo III - 3.3.1 - (5) y (7) el cual si comparamos con una antena en banda Ku, notaremos que la ganancia en decibelios de los terminales en la banda Ka es mayor al de la banda Ku, debido a su mayor frecuencia y distancia respecto a tierra.

RECOMENDACIONES

1. Se ha analizado la aplicación de ACM resultando que es completamente aplicable redundando en una mejora en el rendimiento de la capacidad espacial del orden del 30%.
2. Como se observa en los cálculos, 03b resulta ser la plataforma que mejor se adapta a los requerimientos de comunicaciones tanto fijos en las islas motivo de la tesis, como móviles en embarcaciones tipo crucero.
3. La latencia obtenida es sensiblemente menor que la que se obtiene con sistemas clásicos que emplean satélites en órbita geoestacionaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguayo Torres C. (2001) “*Modulación Multiportadora Adaptativa para canales selectivos en frecuencia con desvanecimientos*”. (Tesis Doctoral) Universidad De Málaga, España. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicaciones.

Clemente Medina M.C (2013) “*Modulación Adaptativa y diversidad en canales de comunicaciones acústicas subacuáticas*”. (Tesis Doctoral). Universidad de Málaga, España. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación.

David Burr, O3b Networks, *MEO Satellite Applications to Support Mobility Colloquium on Satellite Services for Global Mobility*, 14 October, 2013.
http://www.kaconf.org/2013/doc/colloquium/5_David_Burr.pdf

Digital Video Broadcasting (DVB), “*DVB-RCS2 - Return Channel Satellite Fact Sheet*”, Geneva, Switzerland, Mayo 2012.
<http://www.dvb.org/standards/dvb-rcs2>

Digital Video Broadcasting (DVB), “*DVB-S2 Fact Sheet - 2nd Generation Satellite*”, Geneva, Switzerland, Agosto 01.
<http://www.dvb.org/standards>

Merino Acuña H.W 2014 “*Análisis de viabilidad de los HTS de banda Ka para la prestación de servicios de banda ancha satelital en el Perú mediante la aplicación de modelos matemáticos en el desarrollo de cálculos de enlace*” (Tesis de Maestría) Pontificia Universidad Católica del Perú – Lima, Perú.

Modulación adaptativa ACM (*Adaptive Coding and Modulation*)

Publicación online 16 octubre, 2016. by Jesús Ernesto Sánchez Rodríguez
<https://telecomundo.wordpress.com/2016/10/16/modulacion-adaptativa-acm-adaptative-coding-and-modulation/>

O3b en el Perú (The Other 3 Billion)

Satélites de “O3b” con pisada en Perú y América Latina.

<http://gadgerss.com/2013/12/21/satelites-de-o3b-con-pisada-en-peru/>

Publicación Lima – Perú /Diciembre 21, 2013 online.

O3b Networks, *O3b..an innovative way to use Ka band*

April 14, 2014

[https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/cyprus-](https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/cyprus-2014/Documents/Presentations/Hazem%20Moakkit%20-%20O3b.pdf)

[2014/Documents/Presentations/Hazem%20Moakkit%20-%20O3b.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/cyprus-2014/Documents/Presentations/Hazem%20Moakkit%20-%20O3b.pdf)

Stojče Dimov Ilčev, *Global Mobile Satellite Communications Theory: for Maritime*

Land and Aeronautical Applications Second Edition (eBook)- Durban

University of Technology (DUT) South Africa.

[https://books.google.com.pe/books?id=9IYgDQAAQBAJ&printsec=frontcove](https://books.google.com.pe/books?id=9IYgDQAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false)

[r#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=9IYgDQAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false)

S. Zhou and G. B. Giannakis, “*Adaptive modulation for multiantenna transmissions*

with channel mean feedback,” IEEE Trans. on Wireless Communications,

vol. 3, no. 5, pp. 1626, Sept. 2004

[http://www.academia.edu/3161432/Adaptive_modulation_systems_for_predi](http://www.academia.edu/3161432/Adaptive_modulation_systems_for_predicted_wireless_channels)

[cted_wireless_channels](http://www.academia.edu/3161432/Adaptive_modulation_systems_for_predicted_wireless_channels)

Valenzuela Quintanilla J.P (2010) “*Migración de plataforma satelital DVB-S2 a*

DVB-S2 para el servicio DTH”. (Título de Ingeniero Civil Electricista)

Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

Departamento de Ingeniería Eléctrica.

Vinueza Escobar, N.F. (2015) “*Descripción de la Red Satelital O3b y Aproximación*

del Comportamiento para uso de un Terminal Genérico en Poblaciones

Rurales del Ecuador”. (Trabajo de Fin de Máster). Universidad Politécnica

de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación.

ANEXOS

1.2M Ka-Band Terminal Maritime Dual VSAT System

O3bMaritime 1.2m VSAT Terminals support mission-critical and business-critical data-hungry applications, with unmatched throughput and complete reliability. These terminals are compatible with the entire portfolio of O3b certified VSAT modems and BUCs.

OceanTRx⁴⁻⁵⁰⁰ Maritime Stabilized VSAT System

ORBIT's new OceanTRx™ 4-500 1.2m Ka-band stabilized maritime VSAT System enables maritime vessels and platforms to enjoy fiber-like broadband communication for high-speed internet services over O3b's medium earth orbit (MEO) satellite constellation. In combination, the O3b satellites and Orbit's OceanTRx™ 4-500 maritime VSAT System features high speed internet access over a cost effective satellite connection, making the Internet a truly global and universal experience.

O3b's MEO satellites will be deployed in a circular orbit along the equator at an altitude of 8000 km, less than one-fourth the altitude of geo-stationary satellites. This lower orbit substantially lowers costs while maintaining low-latency fiber-like connections. No other service provider has the combination of fiber-like connections with the global reach of the O3b network.

OceanTRx™ 4-500 is the evolution of ORBIT's OrSat™ portfolio into Ka-band. OceanTRx™ 4-500 features outstanding RF performance, system availability and dynamic response under virtually any sea conditions, and complies with the most stringent environmental standards for shocks, bumps and vibrations. The system can support a wide range of configurations with different RF packages and BUC power levels and can be easily upgraded in the field, without the need for balancing, to support all available configurations.

KEY FEATURES

- Highly efficient dual-offset Gregorian 1.15m (45") antenna
- Superior stabilization and tracking under severe sea conditions
- Four axes pedestal with zero "keyholes" at zenith or horizon
- Supports Ka/Ku*/X*-band frequencies and optional RF packages and BUC power levels. * Field upgradable upon release
- Highly accessible pedestal design using small, light, and "easy to replace" Field Replaceable Units (FRU's)
- Does not require accurate or periodic balancing during installation and field upgrades (BUC, LNB, Feed)
- Quick and simple installation, with single cable for below-deck connectivity
- Common electronic Field Replaceable Units (FRU's) and SW with OceanTRx™ 7-500
- Advanced remote-monitoring, diagnostics and troubleshooting capabilities
Secured remote connection is available for software upgrades

O3bMaritime



Efficient Terminal for Seamless Connection

A pair of OceanTRx™ 4-500 1.2m stabilized maritime VSAT Systems, each with a Ka-band Block Up Converter (BUC), keep a continuous contact with the satellite constellation. Continuous service is maintained by automatically transferring active links between setting and rising satellites when both are in view.

OceanTRx™ 4-500's superior RF-performance, coupled with adaptive coding modulation (ACM) enables the O3b network to seamlessly manage the make-before-break connections during satellite transfers without loss or repetition of data, while providing peak operating efficiency at the highest possible satellite link speeds. This improves satellite resource usage and ensures always-on connectivity even on the fringes of satellite coverage.

Monitoring and control

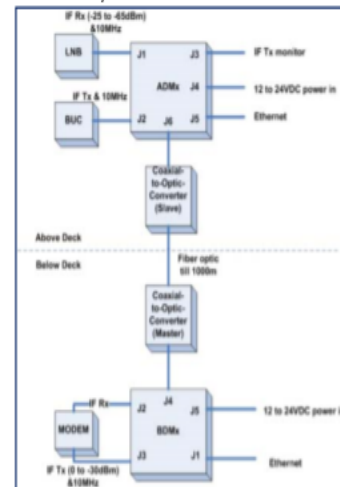
Each OceanTRx™ 4-500 VSAT incorporates Antenna Control Unit and Central Control Unit, which manage its system operations. The controllers allocate antenna resources while managing constellation tracking of the MEO satellites. Under normal conditions, the controllers receive and process satellite configuration and position updates from the O3b network operations center for a completely hands-off, lights out operation.

Technical Specifications

Antenna Type:	Dual offset Gregorian
Antenna size:	1.15m (45")
Radome Size:	D: 1.55m (61") H: 1.69m (67")
ADE Weight (Exc BUC):	185Kg (408 lb)
Configuration:	A quadruple-axis polarization-over- elevation-over-tilt-over-azimuth
Range of Dynamic Motion:	Full hemispherical coverage, down to satellite elevation view angle as low as 10° at all sea conditions. With no "keyholes" at zenith or horizon
Range of Mechanical Pedestal Axes:	Azimuth: Continuous Elevation: -30° to +120° Cross Elevation: -75° to +75°
Ship Gyro Interface:	NMEA 0183, Step by Step, Synchro
Operating Frequency – (Range via 2 selectable bands):	Rx 17.8 GHz to 19.3 GHz Tx 27.6 GHz to 29.1 GHz
System G/T (dB/K, Typical includes all losses):	≥19dB/K @ mid-range at 20° Elevation
System EIRP with Multiple BUC Options (dBW, Typical including all losses):	≥53dBW with a 5W BUC @ mid-range ≥56dBW with a 10W BUC @ mid-range ≥59dBW with a 20W BUC @ mid-range
Side-lobes Level Compliance:	ITU-R S.580-6 , FCC 25-209 & ANATEL Resolution #572
Handover:	Make-Before-Break
Signal Tracking Error (Typical):	0.5-1.0dB RMS (under ship motion)
Tracking Method:	Combination of Inertial Stabilization, Ephemeris Tracking, and Dynamic RF Tracking
Ephemeris Format:	NORAD two line elements (ASCII)
Polarization:	Tx-RHCP, Rx-LHCP, or vice versa, electrically switchable
Indoor Mains:	Auto ranging 90-130VAC or 200-250VAC at 50/60Hz, Less than 100W RMS
Outdoor Mains:	Auto-ranging 90-130VAC or 200-250VAC at 50/60Hz, Approx 400W RMS with 10W BUC

ADE-BDE Connectivity:

STD: Single coax cable only - up to 140m (L-Band, Tx/Rx, LAN, 10MHz ref) Optional: Fiber connection – for up to 1000m, can be implemented as an upgrade to an existing system



Environmental Conditions Compliance

Wind Speed:	Up to 100 knots
Shock:	IEC-60721-4-6 class 6M3, MIL-STD 810F
Vibration:	IEC-60721-4-6 class 6M3, MIL-STD-167-1 (Mast Mounted), DNV #2.4 Class
Temperature:	Operation: -25°C to +55°C with Radome, as per IEC 60945:2002 Storage: -25°C to +70°C
Humidity:	IEC 60945:2002 – Damp Heat Humidity 93% (±3%) @ 40°

OceanTRx™ 4-500 VSAT system options

The OceanTRx™ 4-500 VSAT system can be configured to meet specific regional or operational requirements.

High Availability — additional hot spare antenna to increase availability

Maintenance Plans — to keep your system in top operating condition.

Please consult our Orbit Account Managers to assist you in selecting the right system and options to meet your needs.



© 2013 ORBIT Communication Systems Ltd. All Rights Reserved

ORBIT Communication Systems Ltd

8D Hatzoran St.
P.O Box 8657
Netanya, 42506, Israel
Tel: +972-9-892-2771
info@orbit-cs.com
www.orbit-cs.com

Fuente: <https://www.o3bnetworks.com/wp-content/uploads/2015/02/O3b-Maritime-1.2m-Orbit-DatasheetTRx-4-500.pdf>

Anexo 2: Hoja técnica - Autotracking Antenna System



The EnerLinksIII™ Autotracking Antenna System (ETAS) provides a complete, high performance ground station solution for video and ISR data links using the EnerLinksIII Ground Modem Transceiver (GMT).

An antenna with a parabolic reflector design is an ideal choice for the ground station antenna, since its gain varies in a way that exactly offsets the propagation loss variation, allowing the link margin to be constant with frequency.

When using the autotracking antenna system, the EnerLinksIII calculated LOS range at 11 Mbps is 75 nmi with 10 dB of link margin for multipath fading. In practice, greater range is usually achieved. Similarly, performance well beyond 100 nmi is achievable at 5 Mbps.

The ETAS also includes an omni-directional antenna for operation at close range where the angular velocity of the aircraft may exceed the ability of the tracking gimbal to follow it. The diversity combining capability of EnerLinksIII allows the downlink to switch seamlessly and automatically between the two antennas. The uplink is likewise switched to the appropriate antenna using an RF switch.

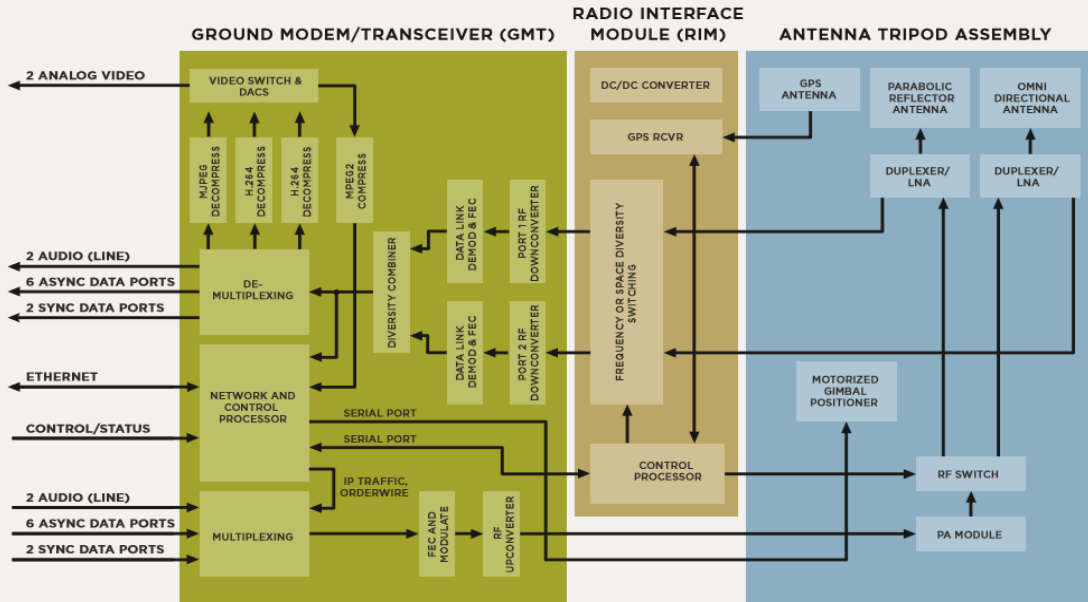
Tracking and acquisition is accomplished using a combination of GPS position information (when available) and signal strength. The ETAS includes an integrated GPS receiver and flux gate compass to allow it to determine its location and orientation.

Autotracking Antenna At-A-Glance

- › Rugged, portable autotracking antenna system enhances EnerLinksIII range performance
- › 24" parabolic reflector provides gains from 18 dBi at 1.7 GHz to 28 dBi at 5.5 GHz
- › Narrow beamwidth improves theater wide system spectrum efficiency
- › Omni antenna for operation at close range
- › Tracking algorithm implemented within EnerLinksIII Ground Modem Transceiver – no additional tracking unit box needed.
- › Fully integrated with all RF components

Using the Autotracking Antenna System, the EnerLinksIII system will provide downlink LOS range of at least 75 nmi at 11 Mbps, and over 100 nmi range at 5 Mbps at any frequency band in which it can operate.

Autotracking Antenna System Specifications



ETAS incorporates all the RF components that are sensitive to cable loss including duplexers, LNAs and Power Amplifiers. These are packaged directly behind the parabolic reflector using minimum length cable runs. Power for the LNAs and PA is conducted on the RF cables, minimizing the number of cables required.

The tracking algorithms are implemented in software residing in the GMT. The GMT interfaces to the Antenna Tripod Assembly through a Radio Interface Module that provides power conditioning for the gimbal power and control for the GPS receiver and various RF switches. The Radio Interface Module also allows switching to enable use of the GMT in a frequency diversity mode if required.

ANTENNA

Parabolic Diameter: 24"
Gain at 1700 MHz (approx): 18 dBi
 3 dB beamwidth at 1700 MHz: 20°
Gain at 5500 MHz (approx): 28 dBi
 3 dB beamwidth at 5500 MHz: 6°

OMNI ANTENNA

1700 – 2500 MHz Gain: 3dBic;
 16" L x 1.58" Dia.
4400 – 5850 MHz Gain: 4dBic;
 4.2" L x 2.0" Dia.

RADIO INTERFACE MODULE

Size: 3.2" x 7.9" x 10.5"
Weight: 6.5 lbs.

ANTENNA TRIPOD ASSEMBLY

Size: 6 ft < height < 7.5 ft; triangular
 foot print 45" /side
Weight: 68 lb.

ENVIRONMENTAL

Operating temperature range: -0° to +60°C
Non-operating temperature range: -40° to +85°C
Humidity: to 95% non-condensing
Vibration: consistent with sec 514.4,
 category 20 of MIL-STD-810F Procedure 1,
 Figure 514.5 (wheeled vehicles)

CONTACT

1935 CORDELL COURT
 EL CAJON, CA 92020-0911

WEB WWW.VIASAT.COM/ISR-DATA-LINKS
 TEL 619.438.6000
 EMAIL ENERLINKS@VIASAT.COM

Copyright © 2011 ViaSat, Inc. All rights reserved. Printed in the USA. "ViaSat" and ADVS are registered trademarks of ViaSat, Inc. Predator is a registered trademark of General Atomics. All other trademarks are the sole property of their respective companies. Specifications and product availability are subject to change without notice. Enerdyne Technologies, Inc. is now a part of ViaSat.

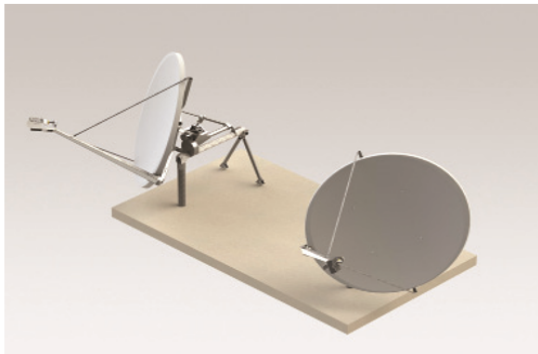
ViaSat

Fuente: https://www.viasat.com/sites/default/files/media/documents/autotrackingantenna_datasheet_018_web.pdf

1.8M Ka-Band Terminal Remote Auto Acquire / Auto Tracking



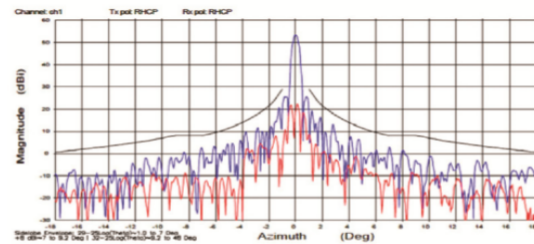
O3b customer terminals are sized to meet the customer's Service Data Rate (SDR) requirements and offers service availability targets of 100%. The O3b recommended terminals for each region are based on link budget calculations based on the customer's location and are designed to work with existing VSAT modems and transceivers.



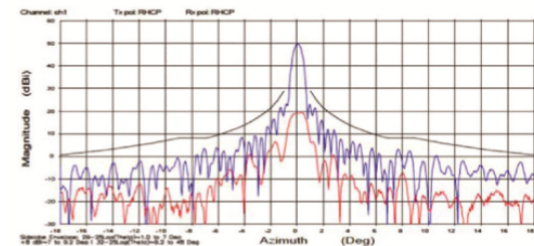
Description

The new series auto acquire / auto track, General Dynamics SATCOM Technologies' 1.8m Ka-Band tracking antenna has been designed to provide a reliable, trouble free solution for the O3b terminal installations. Each terminal comprises a pair of tracking antennas under the control of a dedicated antenna control unit [ACU]. One antenna acquires and follows a rising O3b satellite in MEO orbit while the second antenna is parked in a home position for the next rising satellite. The O3b service is maintained by the antenna pair acquiring and tracking alternate satellites in the O3b constellation. Terminals have been designed to support a range of Ka-band SSPB's ranging in output powers from 5 watts to 40 watts.

The mechanical design has been optimized for high efficiency packaging to reduce shipping costs. Material selections for the reflector significantly reduce the risk for shipping damage when compared to metal reflector solutions. Factory pre-assembly of critical components eliminates the requirement for complex assembly procedures in the field.



Ka-Band Azimuth +/- 18 deg measured (Tx) Band pattern coverage



Ka-Band Azimuth +/- 18 deg measured (Rx) Band pattern coverage

Key Features

- AUTOMATED ACQUIRE AND PRECISE TRACKING ACCURACY FOR TERMINALS PROVIDING MEDIUM UPLINK EIRP LEVELS
- RELIABLE ALL-WEATHER PERFORMANCE
- SINGLE PIECE (AND OPTIONAL 2-PIECE) REFLECTOR MODELS AVAILABLE
- SUPPORT MULTIPLE SSPB OPTIONS RANGING FROM 5 TO 40 WATTS
- INTEGRATED POSITIONER PEDESTAL AND ANTENNA CONTROL UNIT
- FIELD FRIENDLY INSTALLATION WITHOUT REQUIREMENT FOR SPECIALIZED TOOLS
- COMPLIANT WITH MAJOR INTERNATIONAL REGULATORY REQUIREMENTS (ITU-R S.580, FCC 47 CFR 25.209 SIDELobe SPECIFICATIONS)

Electrical Performance

Antenna size		1.8M (one piece)
Operating Frequency (GHz)	Receive	17.960 – 19.163 GHz
	Transmit	27.760 – 28.963 GHz
Midband Gain (+/- .2 dB)	Receive	49.1 dBi
	Transmit	52.8 dBi
HPBW Nominal Mid-Band to -3 dB points (degrees)	Receive	0.63 deg
	Transmit	0.40 deg
Antenna Noise G/T (dB/K) at 19.2 GHz & 15 deg elevation		27.8 dB/K
Uplink EIRP (dBW) with Multiple SSPB/HPA Options:	5 watt SSPB	59.8 dBW
	10 watt SSPB	62.8 dBW
	20 watt SSPB	65.8 dBW
	40 watt SSPB	-
Sidelobe Envelope Co-pol (Azimuth)		Meets or exceeds requirements of FCC 47 CRF 25.209 and ITU-R S.580-6
Polarization (co-pol)		RHCP/LHCP (Field Selectable)
Feed Interface	Receive	WR-42
	Transmit	WR-28
Cross Pol Isolation		>20 dB on axis
Tx-Rx Port to Port Isolation		>80 dB
VSWR (Tx & Rx Bands)		1.3:1 Max (Γ <-17.7 dB)

Mechanical

Reflector Material	Glass Fiber Reinforced Polyester SMC. Highly resistant to corrosion, fungus and UV radiation
Antenna Optics	Easy-to-assemble, Offset Fed Prime Focus Design with 0.8 F/D optics
Two Axis Pedestal	Modified polar mount tracking +/- 80 deg hour angle and +/- 10 deg declination
Tracking Accuracy & Rate	Better than +/- 0.06 deg (within 0.5 dB beam peak)
Antenna Reset Time	Standard Mode: < 6 minutes, Emergency Mode: < 2 minutes (Time to position for next requisition)

Environmental Performance

Wind Loading	Operational	56 km/hr gusting to 72 km/hr
	Survival	161 km/hr with antenna in stowed position
Temperature	Operational	-20° to 50° C / up to 100% RH
	Survival	-40° to 85° C (storage) / up to 100% RH
Atmospheric Conditions		Salt, Pollutants and Contaminants as Encountered in Coastal and Industrial Areas
Solar Radiation		360 BTU/h/ft ²
Lightning / ESD		Survive 5kV close by lightning strike/ESD protected to 15 kV

GENERAL DYNAMICS
SATCOM Technologies

General Dynamics
1500 Prodelin Drive
Newton, NC 28658 USA
Telephone: +1-828-464-4141
Fax: +1-828-464-4147
Email: vsat@gdsatcom.com
Web Site: www.gdsatcom.com

O3b NETWORKS LIMITED
St John's Manor Offices,
Le Neuf Chemin, St John,
Jersey, JE3 4EH Channel Islands
TEL +44.1534.865.000
FAX +44.1534.862.301
www.o3bnetworks.com

Copyright © 2011 General Dynamics. All rights reserved. Specifications and product availability are subject to change without notice.

Fuente: http://www.o3bnetworks.com/wp-content/uploads/2015/02/O3b_General-Dynamics_1.8m-Dual-Tracking-Antenna.pdf

Anexo 4: Hoja técnica - High Performance MEO/O3b Satellite Terminal



High Performance MEO/O3b Satellite Terminal

The O3b product suite is supported by the most advanced modulation technologies in the industry. O3b Networks offers high speed Internet service, VoIP, video conferencing, mobile backhaul and private corporate data network applications.



Benefits

- High performance satellite terminal supporting service rates up to 24Mbps/24Mbps on O3b MEO satellite constellation
- Dual inbound transmission waveforms – bursty mode MF-TDMA and continuous SCPC - supports mix of services
- Seamless handover between O3b satellites
- High availability service utilizing DVB-S2 ACM for both outbound and inbound
- Rich feature-set terminal supporting voice, data and video applications
- Ideal for cellular backhaul, ISP Point of Presence, IP trunking and more

High Performance Multi-Mode Terminal

The introduction of the O3b MEO satellite constellation presents new opportunities for service providers. Gilat's meoEdge satellite terminal enables both TDMA and SCPC based services over O3b satellites using one remote equipment type. The terminal includes dual high performance SkyEdge II Accent VSATs that connect to two MEO tracking antennas. Since the frequency of handover between satellites is 20-40 minutes, the design incorporates seamless "make before break" handover from one VSAT to the other in order to maintain constant flow of traffic and maintain IP sessions. The meoEdge terminal supports very high throughput transmission via DVB-S2 outbound carrier and dual-mode (TDMA and SCPC) inbound access providing maximum service flexibility to operators.

Maximum Efficiency and Availability

meoEdge provides superior space segment bandwidth efficiency and enables high link availability through the use of DVB-S2 ACM (Adaptive Coding and Modulation) both in the outbound and inbound paths. For non-bursty traffic, the continuous DVB-S2 carrier access mode requires ~50% less space segment than MF-TDMA access mode. Bidirectional ACM allows the meoEdge terminal to monitor and adjust the transmission characteristics in each direction to the link conditions, providing operators with high availability service. In addition, meoEdge enables operators to share a large outbound carrier among all TDMA and SCPC terminals increasing the statistical bandwidth multiplexing for best bandwidth efficiency.

Single Management System

meoEdge is an additional member of the SkyEdge II family of VSATs. meoEdge terminals, like other SkyEdge II VSATs, are managed via the centralized SkyEdge II network management system (NMS). This architecture provides operators with a single management system to control, monitor and configure both TDMA and SCPC services on the same platform. In addition the NMS provides variety of unique capabilities such as automatic scheduling of SCPC carriers.

Feature Rich Terminal

meoEdge comes with embedded IP routing and multilevel QoS capabilities that are available on the SkyEdge II platform.



Technical Specifications

Outbound Carrier

Standard DVB-S2 ACM (Adaptive Code and Modulation)
 Satellite switchover Tx on both hub antennas, seamless receive signal switchover at the Terminal
 Carrier rate 300Ksps - 45Msps (in 1Ksps steps)
 Modulation QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK
 Coding LDPC & BCH (DVB-S2)
 FEC rate (DVB-S2) 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10

Inbound Carrier

Access Scheme MF-TDMA DVB-RCS based and DVB-S2 ACM Continuous Carrier (SCPC)
 Satellite switchover Tx on both, Seamless switchover at hub receivers
 Channel Rates DVB-RCS: 128Ksps-2.56Msps; SCPC: 300Ksps - 10Msps
 Carrier data rate Up to 4.4Mbps with DVB-RCS; Up to 24Mbps with SCPC
 Modulation DVB-RCS: QPSK, 8PSK; SCPC: QPSK, 8PSK, 16APSK
 Coding DVB-RCS TPC FEC 1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 6/7; SCPC DVB-S2 FEC 1/4, 1/3 ... 9/10

Outdoor Unit

Antenna size (typical) Ka-Band dual antennas: 1.8m, 2.4m
 Linear BUC Dual BUC, each antenna with its own BUC
 LNB Dual LNB, each antenna with its own LNB

Indoor Unit

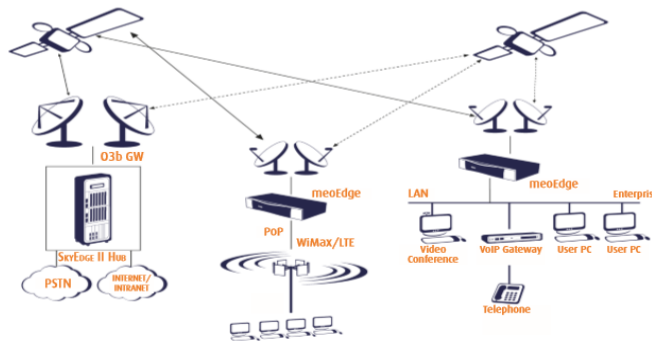
Configuration Installable into a 19" rack
 RF Input / Output Two F connectors, 75 Ohm, female
 Data Interface Two Ethernet 10/100BaseT
 Operating Voltage 100-240VAC

IP Features

Enhanced IP features RIP, DHCP, NAT/PAT, IGMP, DiffServ, Multi VRF, VLAN
 Other Features Multilevel QoS

IDU Mechanical / Environmental Conditions

Size (WxDxH) 480x340x135 mm (without rack mount addition)
 Weight 10 Kg
 Operating Temperature 0° to +50° C
 Storage Temperature -40° to +70° C
 Relative Humidity Up to 90%



Gilat Satellite Networks Ltd.
 21 Yegia Kapayim Street
 Kiryat Arye
 Petah Tikva 49130 Israel
 Tel: +972 3 925 2000
 Fax: +972 3 925 2222
 E-mail: info@gilat.com
 Website: www.gilat.com

O3b NETWORKS LIMITED
 St John's Manor Offices,
 Le Neuf Chemin, St John, Jersey, JE3 4EH
 Channel Islands
 Tel: +44 1534 865 000
 Fax: +44 1534 862 301
 Website: www.o3bnetworks.com

The Gilat logo and SkyEdge are trademarks of Gilat Satellite Networks Ltd. or its subsidiaries. This brochure is being provided for informational purposes only. The details contained in this document, including product and feature specifications, are subject to change without notice and shall not bind Gilat to a specific product or set of features related thereto. DVB is a registered trademark of the DVB Project.

Fuente: http://www.o3bnetworks.com/wp-content/uploads/2015/02/O3b_Gilat_SkyEdgell_Modem.pdf

Anexo 5: Hoja técnica - LNB 9000HT-3 Ka PLL TRIPLE BAND



Innovative Communication Solutions



LNB KA TRIPLE-BAND PLL 9000HT-3



TYPICAL SPECIFICATIONS

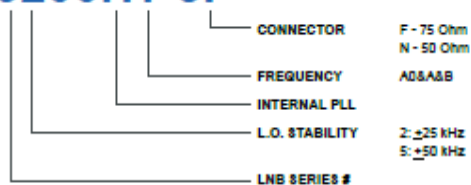
Noise figure	1.5 dB max	DC power	
L.O. stability	±25 KHz	AD-band	13 V
Phase noise (88B) max	-70 dBc/Hz at 1kHz -80 dBc/Hz at 10kHz -90 dBc/Hz at 100 kHz	A-band	18 V
Input VSWR	2.0 : 1	B-band	13 V + 22 KHz tone
Output VSWR	2.0 : 1	DC current	350 mA (11 - 24V)
Conversion gain	58 dB (min)	Waveguide Flange	WR-42
Gain flatness over 1000 MHz	4 dB p-p	Output connector	N:50 Ω, F: 75 Ω
Output P1dB	5 dBm	Spurious	
Image rejection	40 dBc min	In band	-60 dBc
		Out band	-50 dBc
		Dimensions	133(L) x 70(W) x 39(H) mm
		Weight	500 g
		Operating Temperature	-40 to + 60°C

FREQUENCY BANDS AVAILABLE

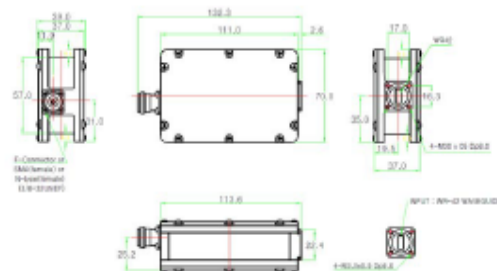
	AD	A	B
Frequency band (GHz)	17.30 to 18.30	18.30 to 19.30	19.30 to 20.20
L.O. frequency (GHz)	16.35	17.35	18.35
IF frequency (MHz)	950 to 1950	950 to 1950	950 to 1850

HOW TO ORDER

9200HT-3F



MECHANICAL DIAGRAM



Authorized Distributor: Servsat Communications, Inc.

Fuente: http://www.norsat.com/wp-content/uploads/9000ht-3_Inb.pdf

Anexo 6: Hoja técnica -150 and 175 Watt Ka-Band Antenna Mount High Power Amplifiers

150 and 175 Watt Ka-Band Antenna Mount High Power Amplifiers



FEATURES

- *Compact 46 lb. antenna mount package*
- *RS-232/422/485 M&C interface*
- *Ethernet option*
- *Linearizer option*

The **XTD-150Ka** and **XTD-175Ka** series are compact self contained antenna mount power amplifiers designed for low cost installation and long life. Cooling and monitor & control systems are all self contained within the amplifier. These highly compact units typically weigh only 46 pounds. Alternative frequency coverage is available.

These amplifiers have built-in waveguide switch control capability. This can be used in a 1:1 redundancy configuration. A single RS-485 cable can control two amplifiers and redundancy switch.

The amplifiers are available with multiple options including redundant and phase combined system configurations, integral linearizers and harmonic filters. Remote external controllers are available to operate the HPA from a user selected location.

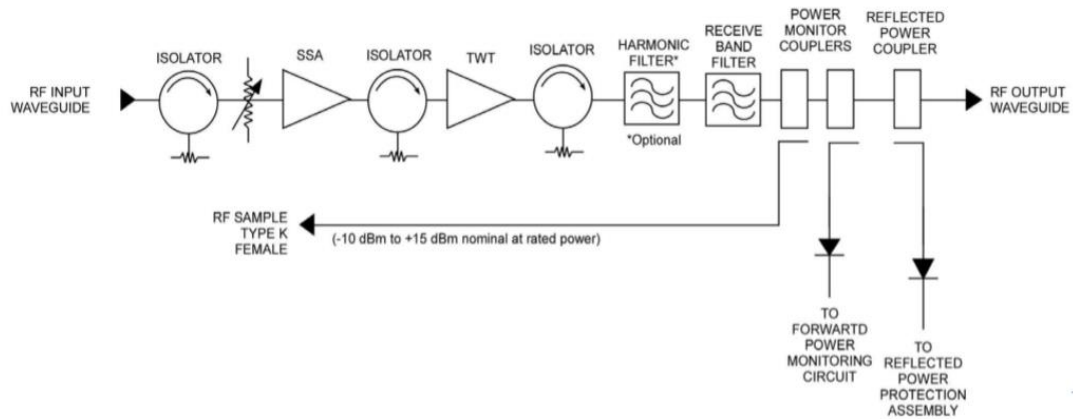


3550 Bassett Street • Santa Clara • CA 95054 • Tel: (408) 213-3000 • Fax: (408) 213-3001
www.xicomtech.com • email sales@xicomtech.com

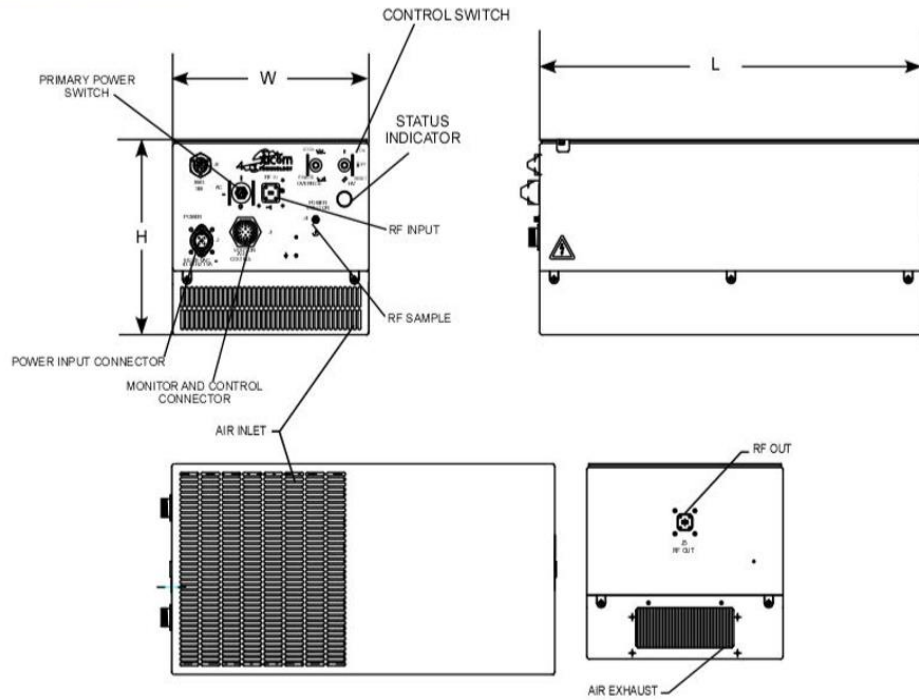
PERFORMANCE SPECIFICATION

Parameters	XTD-150Ka	XTD-175Ka
FREQUENCY RANGE	27.5 to 30.0 GHz (alternate sub-bands in the 27.5 to 31.0 GHz band available)	
OUTPUT POWER		
Traveling Wave Tube (Saturated Power (typical))	150 W (51.8 dBm)	175 W (52.4 dBm)
Rated Power @ Amplifier Flange (minimum)	130 W (51.1 dBm)	150 W (51.7 dBm)
GAIN		
Large Signal (minimum)	70 dB	
Small Signal (minimum)	75 dB	
Attenuator Range (continuous)	30 dB	
Maximum SSG Variation Over		
Any Narrow Band	0.80 dB per 60 MHz	
Any 1 GHz Band	2.5 dB	
Slope (maximum)	± 0.04 dB/MHz	
Stability, 24 hr. (maximum)	± 0.25 dB	
Stability, Temperature (maximum)	± 1.0 dB over temperature range at any frequency	
LINEARITY	7.5 dB below flange power (3.2 dB with linearizer option)	
Intermodulation -25 dBc		
HARMONIC OUTPUT (maximum)	-60 dBc	
AM/PM CONVERSION (maximum) @ P ₀ = 6 dB below rated power	2.5 deg/dB (1.0 deg/dB with optional linearizer)	
NOISE POWER (maximum)		
Transmit Band	-70 dBW/4 kHz	
Receive Band (<21.2 GHz)	-150 dBW/4 kHz	
GROUP DELAY (maximum)		
Bandwidth	Any 60 Hz	
Linear	0.01 nS/MHz	
Parabolic	0.005 nS/MHz ²	
Ripple	0.5 nS/Pk-Pk	
RESIDUAL AM NOISE (maximum)	-50 dBc to 10 kHz -20 (1.5 + logf) dBc 10 to 500 kHz -85 dBc above 500 kHz	
PHASE NOISE (maximum)	12 dB below IESS phase noise profile AC fundamental -50 dBc Sum of all spurs -47 dBc	
VSWR		
Input (maximum)	1.3:1	
Output (maximum)	1.3:1	

BLOCK DIAGRAM



OUTLINE DRAWING



DIMENSIONS

	INCHES	CENTIMETERS
W	10.25	26.04
L	20.00	50.80
H	9.50	24.13

Nominal Weight = 46 lbs. (20.87 kg)

RF OUTPUT	
Ka-Band	WR-28 Tapped

XTD-150/175Ka



PRIME POWER

90 to 264 VAC
47 to 63 Hz, Single Phase
750 VA Max. — XTD-150Ka
800 VA Max. — XTD-175Ka
0.95 Minimum Prime Power Factor



ENVIRONMENT

NONOPERATING TEMPERATURE RANGE	-50°C to +70°C
OPERATING TEMPERATURE RANGE	-40°C to +60°C (2°C/1000 Feet Derating)
HUMIDITY	Up to 100% Condensing
ALTITUDE	10,000 Feet MSL Max.
SHOCK AND VIBRATION	Normal Transportation
COOLING	Forced Air (self cooled)

INTERFACE

Type	Function	
LOCAL CONTROL	Prime Power ON/OFF	Local/Remote
	Power Supply ON/OFF	HV ON/OFF
LOCAL STATUS	Tri-Color LED:	
	Fault: Red	Standby: Continuous Amber
	HV ON: Green	FTD: Flashing Amber
REMOTE CONTROL	HV ON/OFF	RF Inhibit
	RF Attenuation	Fault Reset
	Heater Standby	Constant Power
REMOTE STATUS	HV ON	Heater/Beam Hours
	RF Output Power	Fault Identification
	Reflected Power	TWT Temperature
	Filament Time Delay	Helix Current
	Helix Voltage	
DISCRETE STATUS	Summary Fault (2X Form C Dry Contact Closure)	
RF MONITOR PORT	-43 dB Coupling Value (approx.)	

OPTIONS

- Linearizer
- Harmonic Filter (0.25 dB output power reduction)
- WR-34 Waveguide Output or Input
- Alternate Frequency Coverage
- Remote External Controller
- 1:1, 1:2, 1:N Redundancy
- Phase Combined
- Block Upconverter

Headquarters

Comtech Xicom Technology, Inc.
3550 Bassett Street
Santa Clara, CA 95054
USA

Phone: +1-408-213-3000
Fax: +1-408-213-3001

email: sales@xicomtech.com
Web: www.xicomtech.com

Europe Sales Office

Comtech Xicom Technology Europe, LTD
4 Portland Business Center
Manor House Lane
Datchet
Berkshire SL3 9EG
United Kingdom

Phone: +011 44 (0) 1753 549 999
Fax: +011 44 (0) 1753 549 997

email: sales@xicomeurope.com
Web: www.xicomtech.com

Asia Sales Office

Comtech Xicom Technology
150 Cecil Street
#08-02
Singapore 069543

Phone: +011 65 6325 1953
Fax: +011 65 6325 1950

email: asiasales@xicomtech.com
Web: www.xicomtech.com



Document XTD-150/175Ka, Rev 9, 02/11/2015

© 2015

Note: Technical specifications are subject to change without notice. Please contact Xicom Technology before using this information for system design.

Fuente: <http://xicomtech.com/Portals/0/Documents/Products/XTD-150-175Ka%20Rev%209.pdf?ver=2016-03-01-170506-133>