

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**



**“DISEÑO DE UN ENLACE DE INTERNET SATELITAL CERTIFICADO EN
BANDA C PARA UN OPERADOR DE TELECOMUNICACIONES EN LA
CIUDAD DE CABALLOCOCHA, DEPARTAMENTO DE LORETO”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR EL BACHILLER

MALDONADO JIMENEZ, JOE ABEL

Villa El Salvador

2020

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres,
Rolando Maldonado Cuipa y
Adela Jimenez Espinoza,
por su apoyo incondicional,
motivarme a aprender y
enseñarme a perseverar.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial para mis hermanos Cristhian y David, quienes me impulsaron a seguir una carrera profesional.

Agradecer también a todos mis maestros y compañeros que fueron parte de mi formación profesional.

ÍNDICE

RESUMEN	VIII
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS DEL PROYECTO	
a. Objetivo General	3
b. Objetivos Específicos	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	
1.1 Bases teóricas	4
1.1.1 Marco teórico general	4
1.1.1.1 Enlace satelital.....	4
1.1.1.2 Servicios satelitales FSS	4
1.1.1.3 Satélites geoestacionarios	5
1.1.1.4 Ángulos de posición de antena.....	8
1.1.1.5 Asignación de frecuencias satelitales	9
1.1.1.6 Consideraciones técnicas.....	10
1.1.1.7 Banda C.....	11
1.1.1.8 Cálculos de enlace satelital	12
1.1.1.9 Técnicas de modulación de portadora.....	13
1.1.1.10 Tecnología TDMA.....	13
1.1.1.11 Tecnología DVB-S2.	14
1.1.1.12 Regulación de comunicaciones satelitales.	16
1.1.1.13 Servicios de telecomunicación.....	16
1.1.1.14 Telecomunicaciones en el departamento de Loreto	16
1.1.1.15 Factores climáticos en Caballococha	18
1.1.2 Marco teórico específico	19
1.2 Definición de términos básicos	22

CAPÍTULO II: Metodología de desarrollo del trabajo profesional

2.1 Delimitación temporal y espacial del trabajo.....	24
2.2 Determinación y análisis del problema	25
2.3 Modelo de solución propuesto	26
2.3.1 Diseño del enlace de Internet satelital	27
2.3.1.1 Análisis de la asignación de banda C	28
2.3.1.2 Análisis de cobertura de la huella del satélite.....	29
2.3.1.3 Verificación de línea de vista	30
2.3.1.4 Determinación del satélite geoestacionario	31
2.3.1.5 Cálculos de direccionamiento de la antena del enlace satelital	31
2.3.1.6 Análisis del tipo de tecnología satelital	35
2.3.1.7 Cálculo de ancho de banda	36
2.3.1.8 Determinación del hardware	37
2.3.1.9 Configuración del enlace satelital en el NMS	43
2.3.2 Verificación de la certificación del satelital.....	48
2.3.2.1 Ejecución de pruebas de laboratorio	51
2.3.2.2 Verificación del proceso de certificación satelital.....	54
2.3.3 Pruebas de conectividad	63
2.3.4 Réditos del servicio de Internet satelital	72
2.4 Resultados	75
CONCLUSIONES.....	76
RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXOS	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Órbitas de satélites.....	5
Figura 2. Satélites en órbita y características.....	6
Figura 3. Satélites geoestacionarios.	7
Figura 4. Ángulos de elevación y azimut.....	8
Figura 5. Atenuación de enlaces satelitales en banda C y Ku.....	11
Figura 6. Diagrama de bloques de un enlace satelital.....	12
Figura 7. Tecnología TDMA.	13
Figura 8. Sincronización de la tecnología TDMA.....	14
Figura 9. Diagrama del estándar DVB-S2.	15
Figura 10. Tipos de tecnología de la información y comunicación en Loreto.	18
Figura 11. Flujo de diseño de enlace satelital en banda C.....	27
Figura 12. Mapa climático del Perú.	28
Figura 13. Historial de precipitaciones en Caballococha.....	29
Figura 14. PIRE de banda C en Galaxy 28 e Intelsat 14.....	30
Figura 15. Línea de vista hacia Galaxy 28.	30
Figura 16. Línea de vista hacia Intelsat 14.....	31
Figura 17. Cálculo de azimut.....	32
Figura 18. Cálculo de elevación.	33
Figura 19. Cálculo de azimut y elevación.....	33
Figura 20. Polarización en la red IS-14.	34
Figura 21. Guía rápida de polarización.	34
Figura 22. Tecnología TDMA	36
Figura 23. Distribución de modulación.	36
Figura 24. Evaluación de diámetro de antena.....	37
Figura 25. Ficha técnica del fabricante de la antena.....	38
Figura 26. Ficha técnica del satélite Intelsat 14.....	39
Figura 27. Ficha técnica de BUC NJT5669F.....	40
Figura 28. Latencia estimada del enlace satelital.....	42
Figura 29. Ficha técnica de LNB NJS8486H C-Band PLL.	43
Figura 30. Configuración del módem satelital en el NMS.....	44
Figura 31. Configuración de modulación del enlace satelital en el NMS.....	44
Figura 32. Configuración IP de la red privada virtual.....	44

Figura 33. Configuración de IP pública	45
Figura 34. Configuración de MIR y CIR.....	45
Figura 35. Configuración de coordenadas.	46
Figura 36. Configuración de BUC y LNB.....	46
Figura 37. Archivo de configuración del módem satelital.	47
Figura 38. Diagrama de conexiones de hardware.....	48
Figura 39. Verificación de alarmas en transmisión.....	49
Figura 40. Verificación de alarmas en la recepción.....	50
Figura 41. Procedimientos de pruebas de laboratorio.....	52
Figura 42. Pruebas de hardware en telepuerto.	53
Figura 43. Saturación del enlace satelital en pruebas de laboratorio	54
Figura 44. Nivel de SNR promedio.....	56
Figura 45. Nivel de SNR obtenido	57
Figura 46. Performance del SNR en banda C en Caballococha.	58
Figura 47. Performance del SNR en banda Ku en Caballococha.....	58
Figura 48. Nivel de C/No del enlace satelital.....	59
Figura 49. Ángulo de polarización.....	61
Figura 50. Nivel de aislamiento.	62
Figura 51. Resultados de la prueba xpol.....	63
Figura 52. Configuración de la potencia máxima y mínima de transmisión.....	63
Figura 53. Prueba de conectividad del módem satelital.	64
Figura 54. Prueba de conectividad del rúter.....	65
Figura 55. Prueba de conectividad del UPS.....	65
Figura 56. Prueba de acceso web al UPS.....	65
Figura 57. Prueba de acceso web al portal de monitoreo	66
Figura 58. Topología de red	67
Figura 59. Verificación del ancho de banda	68
Figura 60. Historial de tráfico Downstream.....	69
Figura 61. Historial de tráfico Upstream	70
Figura 62. Instalación de VSAT en la ciudad de Caballococha	71
Figura 63. Instalación de hardware indoor.	71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principales atributos de órbitas LEO, MEO y GEO	6
Tabla 2. Resumen de bandas de frecuencias usadas en FSS para GSO.....	10
Tabla 3. Acceso a tecnologías de la información y comunicación en Loreto	17
Tabla 4. Reporte de precipitación extrema en el Perú	18
Tabla 5. Niveles de voltaje referenciales para enlazar una estación satelital.....	56
Tabla 6. Hardware instalado en el enlace satelital.	70
Tabla 7. Protocolo de validación del enlace satelital en banda C.....	72
Tabla 8. Rédito mensual por servicio de Internet satelital	73
Tabla 9. Rédito por servicio de instalación.....	73
Tabla 10. Características comerciales y técnicas del servicio satelital.....	73
Tabla 11. Contribución de habilidades adquiridas en la etapa académica.....	74

RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia profesional muestra el desarrollo del diseño y operatividad de un enlace de Internet satelital en banda C para brindar conectividad a un Operador de Telecomunicaciones en la ciudad de Caballococha, localizada en zona limítrofe con ciudades de los países vecinos de Leticia (Colombia) y Tabatinga (Brasil) representando una de las entradas y salidas del Perú, y donde no fue viable la operatividad de servicios de telecomunicación vía alámbrica. El Operador de Telecomunicaciones a través del enlace diseñado conecta a una institución de control migratorio para que acceda a Internet y se comunique con su central de Lima con la misión de reducir actividades ilícitas a través del control del flujo migratorio irregular.

El diseño del enlace satelital está basado en las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Para determinar la banda de frecuencia y tecnología satelital idónea, se verificó la incidencia de precipitaciones en la ciudad de Caballococha y el ancho de banda requerido, determinándose el uso de banda C conformado por una red TDMA (Time Division Multiple Access), el estándar DVB-S2 (Digital Video Broadcasting Satellite), el satélite geoestacionario IS-14, antena parabólica offset de 2.4m, BUC (Block Upconverter) de 5 Watts y LNB (Low Noise Block) de banda C. Por consiguiente, el diseño fue configurado en el NMS (Network Management System) para la puesta en marcha del enlace satelital. Se presenta el procedimiento de verificación de certificación satelital mediante las pruebas satisfactorias de polarización (xpol) y compresión a 1dBm evaluadas por el SAC (Satelital Access Center) correspondiente; desde el NMS se verificó que los parámetros de telemetría fueran óptimos. Posterior a la certificación, el enlace fue evaluado a nivel de conectividad ICMP (Internet Control Message Protocol) desde Lima a Caballococha.

Como resultado, se presentan los procedimientos de diseño, cálculo y validación de enlaces satelitales que son considerados como recomendaciones prácticas para la implementación de enlaces satelitales geoestacionarios, con la finalidad de usar las comunicaciones satelitales como alternativa tecnológica para llevar conectividad de Internet a regiones con brechas de acceso digital.

INTRODUCCIÓN

Los enlaces satelitales tienen como objetivo brindar conectividad de Internet o transporte de datos en zonas remotas y de difícil acceso para otras tecnologías de telecomunicaciones; aborda múltiples sectores como marítimo, energía, minería, militar y gobierno. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el compendio estadístico del 2017 indica que solo el 14% de hogares en el departamento de Loreto accedieron a Internet en el 2016 y en el 2015 solo el 9.6% de hogares accedió a Internet en la región, evidenciando la brecha de acceso a Internet. Por otra parte la Superintendencia Nacional de migraciones en la resolución N° 000084-2017 indica que es necesario fortalecer el control migratorio en las zonas fronterizas con Colombia y Brasil, creando así el puesto de control migratorio de Caballococha, para facilitar el control de ingresos y salidas de nacionales y turistas, reduciendo el flujo migratorio irregular, ante el crecimiento de actividades ilícitas como minería ilegal, lavado de activos, extorsión, contrabando y comercialización de bienes del patrimonio de la nación.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el informe técnico del 2020 indica que el acceso a Internet alcanzó al 40,5% de los hogares del resto urbano y al 5,9% de los hogares del área rural, con aumento de 4.8 y 2.2 puntos porcentuales, respectivamente; en comparación y con igual trimestre del año 2019. Teniendo en cuenta que el acceso al servicio de tránsito de Internet es limitado para la población rural, es positivo e indispensable que el Operador de Telecomunicaciones brinde el servicio de tránsito de internet hacia un cliente final en la ciudad de Caballococha. Este mismo tipo de solución desarrollada podría ser implementado en cualquier otra área de la misma zona con el fin de promover el desarrollo económico social.

El proveedor satelital es un socio estratégico de otros operadores de telecomunicaciones, dado que brinda el servicio de transporte a otro proveedor como extensión de red en cualquier geolocalización. Un enlace satelital no solo debe verse como un medio de expansión de cobertura de Internet, también es usado en eventos de emergencia por ser de rápido despliegue. Así mismo, según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en la revista N°2 del 2019 se indica que los satélites geoestacionarios han construido una infraestructura para el

ecosistema de las comunicaciones mundiales que prestan servicios como conectividad de Internet, distribución de video, canales de TV a nivel mundial. Debido a la altitud y amplio campo de visión con solo tres satélites de órbitas geoestacionarias se cubre todo el planeta.

El presente trabajo de suficiencia profesional consta de 2 capítulos. En el primer capítulo se presenta las bases teóricas y los términos básicos de los sistemas de telecomunicaciones satelitales que usan tecnología TDMA, haciendo posible enviar data desde una estación terrestre (HUB) hacia un satélite ubicado en órbita geoestacionaria y luego el satélite reenvíe la data hacia una estación remota. En el segundo capítulo, se expone la limitación temporal y espacial del proyecto de diseño de enlace satelital tomando como referencia las recomendaciones de la UIT y los requerimientos del operador satelital; también se formula el modelo de solución propuesto bajo los estándares de certificación satelital y finalmente se muestran los resultados obtenidos del desarrollo del proyecto.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

a. Objetivo General

Diseñar un enlace de Internet satelital certificado en banda C para un Operador de Telecomunicaciones en la ciudad de Caballococha, departamento de Loreto.

b. Objetivos Específicos

- Diseñar un enlace Satelital en banda C con tecnología TDMA que transporte tráfico de Internet desde el telepuerto ubicado en Lurín hacia la antena ubicada en la ciudad de Caballococha.
- Configurar el enlace satelital diseñado en el Sistema de Gestión de Red (NMS) con los parámetros de red, frecuencias, coordenadas y hardware a utilizar.
- Verificar el cumplimiento de la tasa máxima de Información (MIR) del enlace satelital y la latencia del sistema posterior a la certificación satelital realizada mediante las pruebas de xpol y compresión a 1dBm.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Bases teóricas

Las bases teóricas del presente proyecto están compuestas por el marco teórico general y el marco teórico específico. El primero está comprendido por los fundamentos teóricos, definiciones, clasificaciones y asignaciones de radiofrecuencias de los enlaces satelitales; también se presenta la normativa nacional de provisión de capacidad satelital y el servicio de telecomunicación. El segundo está comprendido por artículos de revisión y de investigación que exponen los últimos avances de la tecnología satelital.

1.1.1 Marco teórico general:

1.1.1.1 Enlace satelital.

Las telecomunicaciones diseñan sistemas que permiten comunicar o llevar información por distintos medios transmisión, una de las tecnologías inalámbricas desarrolladas es la comunicación vía enlace satelital. La International Telecommunication Union - ITU (2002), afirma:

Los enlaces satelitales permiten comunicación entre cualquier punto de la superficie de la tierra, sin ningún tipo de infraestructura intermedia y en condiciones (técnicas, costos, etc.) que son independientes de la distancia geográfica entre estos puntos, siempre que se encuentre dentro del área de cobertura del satélite. (p.15)

La comunicación satelital se logra gracias a que un satélite ubicado en el espacio recibe y retransmite data. Tomasi (2014) afirma. “Los satélites de comunicaciones son satélites artificiales que orbitan la tierra, proveyendo una multitud de funciones de comunicación para gran variedad de consumidores, (...). En esencia un satélite de comunicaciones es un repetidor de microondas en el cielo” (p.15).

1.1.1.2 Servicios satelitales FSS.

Respecto a los tipos de servicios satelitales, son clasificados según el tipo de aplicación como: fixed satellite service (FSS), broadcasting satellite service

(BSS), mobile satellite service (MSS), navigational satellite service y meteorological satellite service. La International Telecommunication Union – ITU (2002), afirma: “FSS se define como la participación de enlaces entre puntos de la tierra que están fijos al transmitir o recibir señales a diferencia de los MSS que implica enlaces que pueden estar en movimiento al transmitir o recibir” (p.817).

1.1.1.3 Satélites geoestacionarios.

Los satélites giran alrededor del planeta ubicados en órbitas y se clasifican según la altitud del satélite como Low Earth Orbit (LEO), Medium Earth Orbit (MEO) y Geostationary Earth Orbit (GEO). Según la ubicación orbital tendrá asignado un determinado plan de frecuencias y aplicación. Tomasi (2014) afirma:

La mayoría de los satélites LEO operan de 1.0 GHz a un rango de frecuencia de 2.5 GHz, (...). Satélites MEO operan en los 1.2 GHz a 1.66 GHz, (...). Los satélites geosincrónicos son satélites en órbita terrestre a gran altitud que operan principalmente en el espectro de frecuencia de 2 GHz a 18 GHz. (p.570 - 571)

En la figura 1 se muestra la ubicación de los satélites en el espacio según las órbitas LEO, MEO y GEO.

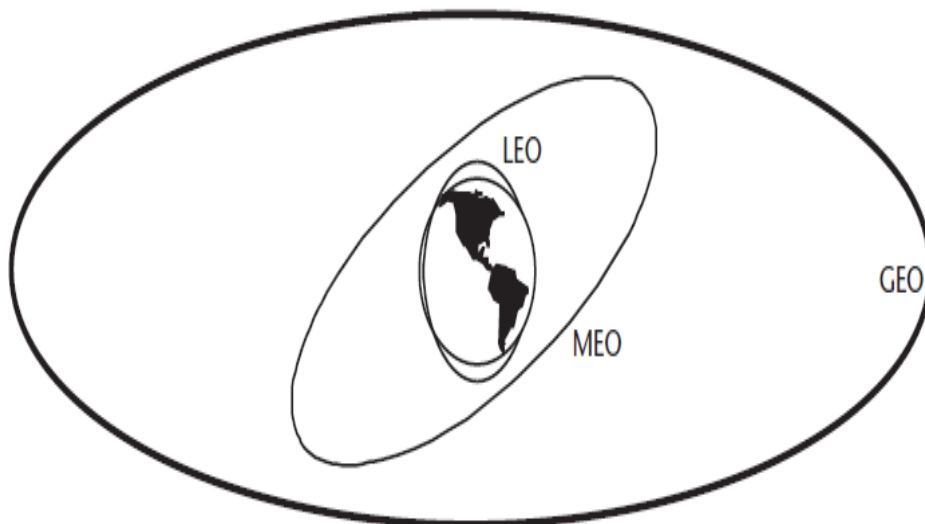


Figura 1. Órbitas de satélites

Fuente: Elbert. 2004. The satellite communication applications handbook.

En la figura 2 se presenta la clasificación de los satélites, el tiempo que tarda en transmitir data de una estación terrena hacia otra estación terrena y cuantos satélites se necesitan para lograr cobertura global en el planeta.

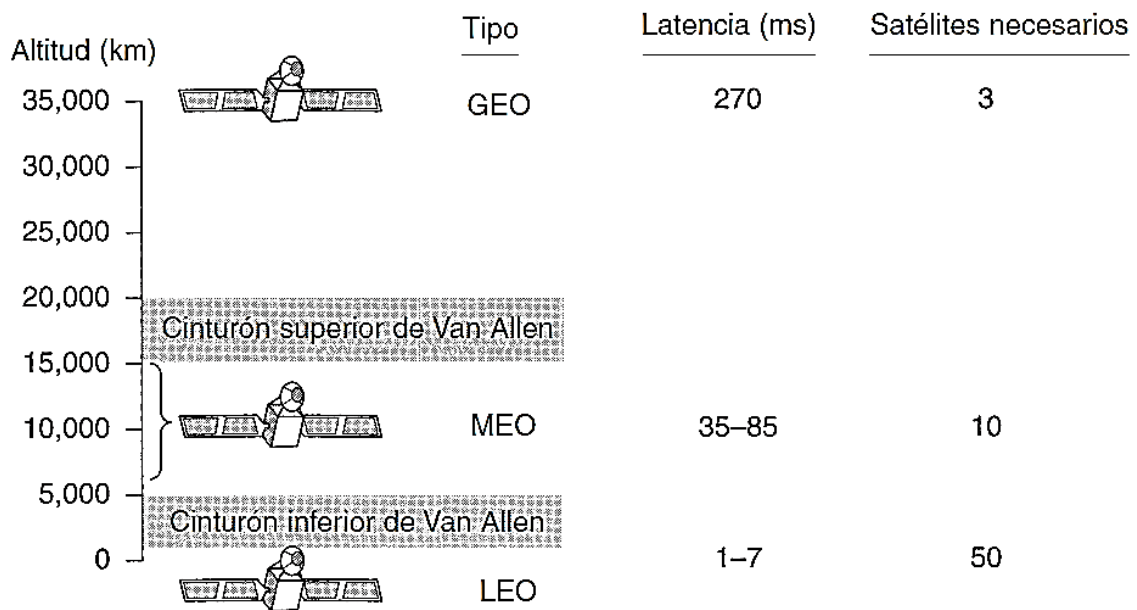


Figura 2. Satélites en órbita y características.

Fuente: Tanenbaum. 2003. Redes de computadoras.

En la Tabla 1 se sintetiza un resumen de las principales características de los satélites en órbitas LEO, MEO y GEO.

Tabla 1. Principales atributos de órbitas LEO, MEO y GEO.

LEO	MEO	GEO
Ventaja neta de 20 dB sobre GEO; latencia reducida favorecida para voz.	Altitud media comprometida entre LEO y GEO; latencia reducida relativa a GEO.	El más sencillo y económico para implementar y operar; la latencia es un problema en algunas aplicaciones.
Se necesita una gran constelación.	Pequeña constelación o emparejamiento.	Satélite solo.
Cobertura limitada; favorables enlaces cruzados.	Cada satélite cubre grandes masas terrestres u océanos; enlaces cruzados de valor limitado.	Cada satélite cubre un Hemisferio; poco o ningún uso para enlaces cruzados.
Casi tres cuartas partes de satélites sobre océanos a un tiempo dado.	La cobertura satelital se extiende a océanos.	La cobertura satelital se extiende a océanos y continentes

Fuente: Elbert. 2004. The satellite communication applications handbook.

Las comunicaciones satelitales más comerciales son proveídas por satélites GEO. La International Telecommunication Union - ITU (2014), afirma:

La órbita de los satélites geoestacionarios (OSG) es un anillo único alrededor de la Tierra situado en el plano del Ecuador a una altura de 35786 km. Los satélites en esta órbita tienen un periodo orbital que es igual al periodo de rotación de la tierra. Por lo tanto, un satélite situado en esta órbita tiene una visión constante de casi un tercio de la tierra y puede mantener contacto continuo con una estación terrena situada dentro del campo de visión del satélite. (p.3)

Respecto a las principales ventajas que ofrecen los satélites geosíncronos, Tomasi (2014) afirma. “Satélites geosíncronos permanecen casi estacionarios con respecto a una estación terrestre determinada. En consecuencia, no se requieren equipos de seguimiento costosos en las estaciones terrestres, (...). Disponibles para todas las estaciones terrestres dentro de su *beam* el 100% del tiempo” (p.577).

En la figura 3 se muestra la ubicación en grados de los satélites Geoestacionarios dentro de la órbita. Los satélites GEO tienen una separación determinada para evitar interferencias entre sí.

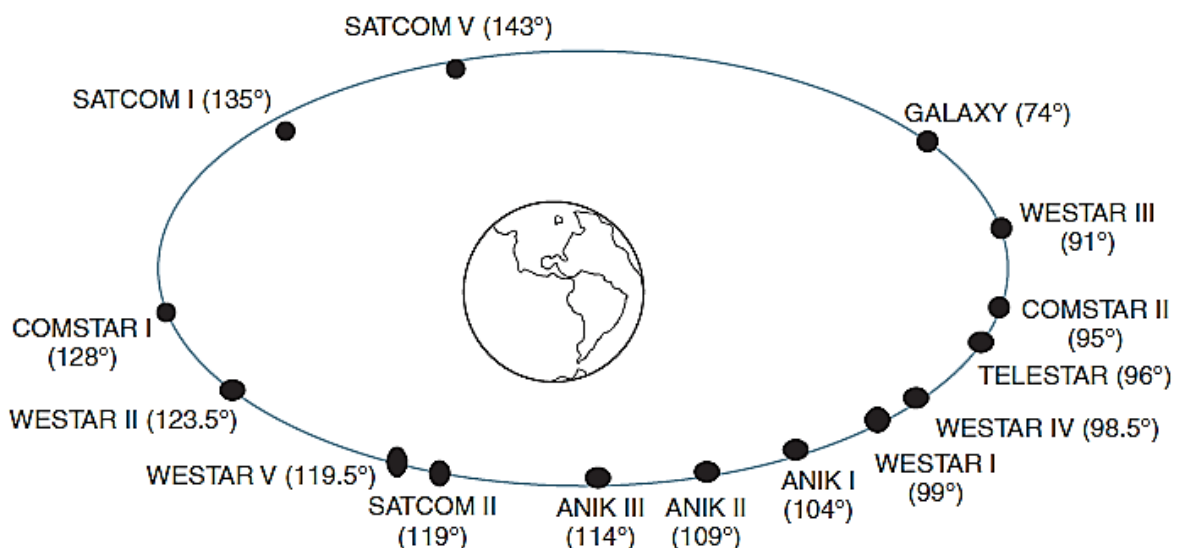


Figura 3. Satélites geoestacionarios.

Fuente: Tomasi. 2014. Advanced electronic communications system.

1.1.1.4 Ángulos de posición de antena.

La antena de estación satelital terrestre FSS que se comunica con un satélite geoestacionario tiene un determinado direccionamiento hacia el espacio. Tomasi (2014) afirma:

Para asegurar que esté alineada la antena de la estación terrestre, se deben determinar dos ángulos: el azimut, y la elevación. El ángulo de azimut y el de elevación son referidos conjuntamente como ángulos de visual de la antena. Con los satélites geosíncronos, los ángulos de visual de las antenas terrestres sólo se deben ajustar una vez, porque el satélite permanece siempre en una determinada posición, excepto por pequeñas variaciones ocasionales. (p. 577)

En la figura 4 se presenta como una estación terrestre se orienta con un azimut y elevación específico para enlazarse con un satélite geoestacionario.

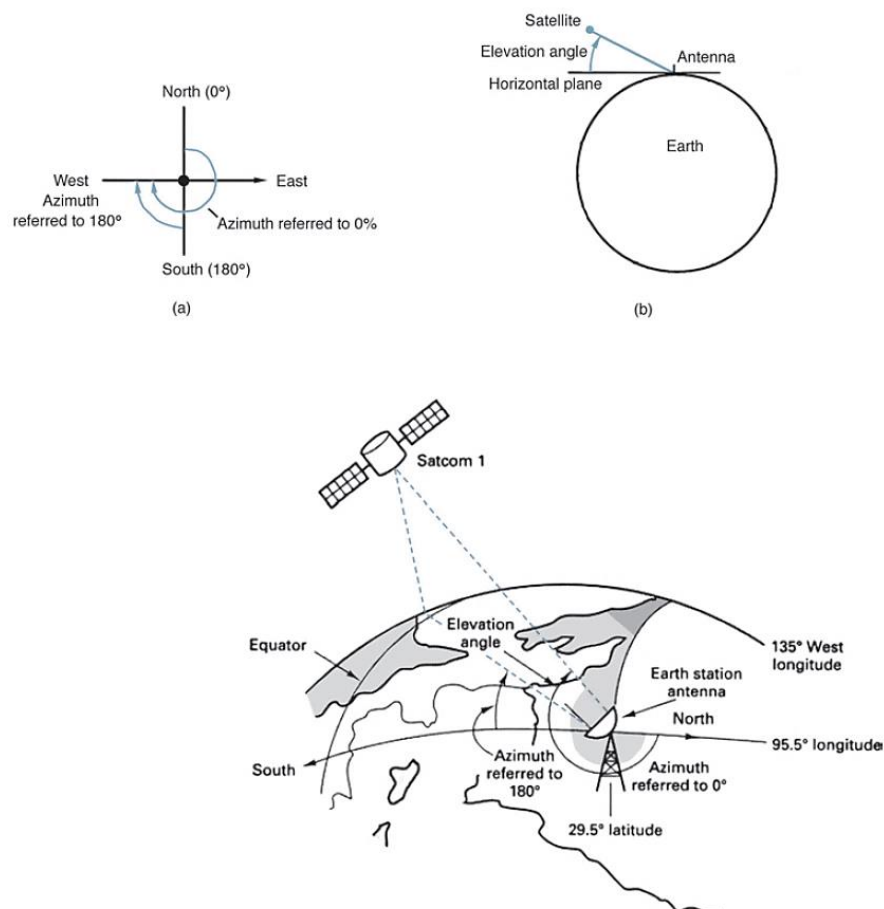


Figura 4. Ángulos de elevación y azimut.

Fuente: Tomasi. 2014. Advanced electronic communications system.

a. Ángulo de azimut.

Respecto al ángulo de azimut Beemsterboer y Broker (2006) afirman. “Es el ángulo entre haz de antena y plano meridiano (medido en plano horizontal). La referencia cero para medir el azimut verdadero es el norte, el este es 90°, el sur es 180° y el oeste 270°” (p. 20).

b. Ángulo de elevación.

Respecto al ángulo de elevación Beemsterboer y Broker (2006) afirman. “Es el ángulo vertical medido desde el horizonte hasta un satélite objetivo. Cuando el eje del haz es paralelo al suelo, la elevación es cero. Una rotación de elevación de 90° apunta el rayo hacia el cenit” (p.20).

1.1.1.5 Asignación de frecuencias satelitales.

La ITU está a cargo de la asignación del plan de frecuencias destinados para enlaces satelitales. La International Telecommunication Union - ITU (2002), afirma:

Históricamente, anchos de banda alrededor de 6 GHz (U/L) y 4GHz (D/L) han sido comúnmente emparejados y muchos sistemas FSS aun usan estas bandas (que son usualmente llamadas “Bandas C”). Sistemas militares y gubernamentales tradicionalmente usan bandas de 8 y 7 GHz (“Bandas-X”). Un numero de sistemas también operan en alrededor de 14 GHz (U/L) y 11-12 GHz (D/L) (“Bandas Ku”), (...). Debido a la saturación de estas bandas, las bandas de 30GHz y 20 GHz (“Bandas-Ka”) deben ser cada vez más implementadas. (p. 11)

Las comunicaciones vía satélite usan grandes rangos de frecuencias para la transmisión y retransmisión de enlaces. Tomasi (2014) afirma:

Las frecuencias de portadoras más comunes que se usan en comunicaciones vía satélites son las bandas 6/4 y de 14/12 GHz. El primer número es la frecuencia del enlace de subida (estación terrestre a transpondedor), y el segundo es la frecuencia de enlace de bajada

(transpondedor a estación terrestre). Se usan frecuencias distintas de enlace de subida y de bajada para evitar que haya radiación de pérdida. (p. 584)

En la tabla 2 se muestra la asignación de las bandas de frecuencias para satélites geoestacionarios asignadas por la ITU.

Tabla 2. Resumen de bandas de frecuencias usadas en FSS para GSO.

Denominación Actual	Up (bandwith)	Down (bandwith)	Uso típico
6/4 (C-Band)	5.725-6.275 (550 MHz)	3.4-3.95 (550 MHz)	Satélites nacionales [Rusia: Statsionar and Express International (Intersputnik)].
			Satélites internacionales y domésticos. Al presente el más grandes uso de bandas: Intelsat
6/4 (C-Band)	5.850-6.425 (575 MHz)	3.625-4.2 (575 MHz)	Satélites Nacionales: Westar, Satcom and Comstar (USA), Anik (Canadá), Stw and Chinasat (China), Palapa (Indonesia), Telecom (Francia), N-Star (Japón).
6/4 (C-Band)	6.725-7.025 (300MHz)	4.5-4.8 (300MHz)	Satélites Nacionales (FSS Plan, RR Appendix s30B)

Fuente: ITU. 2004. Handbook on satellite communications

1.1.1.6 Consideraciones técnicas

En relación con los diagramas de radiaciones de antenas para estaciones terrestres que operan con satélites geoestacionarios. Mediante la recomendación S.580-6, la International Telecommunication Union - ITU (2004) afirma. “Tengan un objetivo de diseño por el que la ganancia, G, del 90% por lo menos de las crestas de los lóbulos laterales no exceda de: $G = 29 - 25 \log \phi$ dBi” (p.1).

Mediante la recomendación S.524-9, la International Telecommunication Union - ITU (2006) afirma. “La interferencia producida por un transmisor de estación terrena en los receptores de satélite de otras redes puede relacionarse directamente con la densidad de la PIRE espectral fuera del eje de la antena de la estación terrena interferente” (p.5).

En relación con la polarización lineal, mediante la recomendación S.736-3, la International Telecommunication Union - ITU (1997) afirma. “Existen dos planos de polarización ortogonales, manteniendo cada vector de polarización una dirección fija, (...). Una onda con polarización lineal es el que contiene la dirección de la propagación de la onda y el vector de polarización” (p.1).

1.1.1.7 Banda C.

Huidobro (2014) afirma. “La banda C proporciona transmisiones de más baja potencia que la Ku pero de más cobertura geográfica, con un plato de la antena receptora más grande, del orden de 3 metros, aunque también con un mayor margen de apuntamiento” (p. 115). La banda C en relación con otro tipo de bandas tiene mayor porcentaje de disponibilidad frente a factores climáticos adversos.

Elbert (2004) afirma. “En frecuencias por encima de banda C (es decir, por encima de 7 GHz), la lluvia introduce una cantidad sustancial de pérdida que debe tenerse en cuenta en el diseño del enlace” (p.35).

En la figura 5 se detalla el rendimiento de un enlace satelital frente a la atenuación de un clima con lluvias.

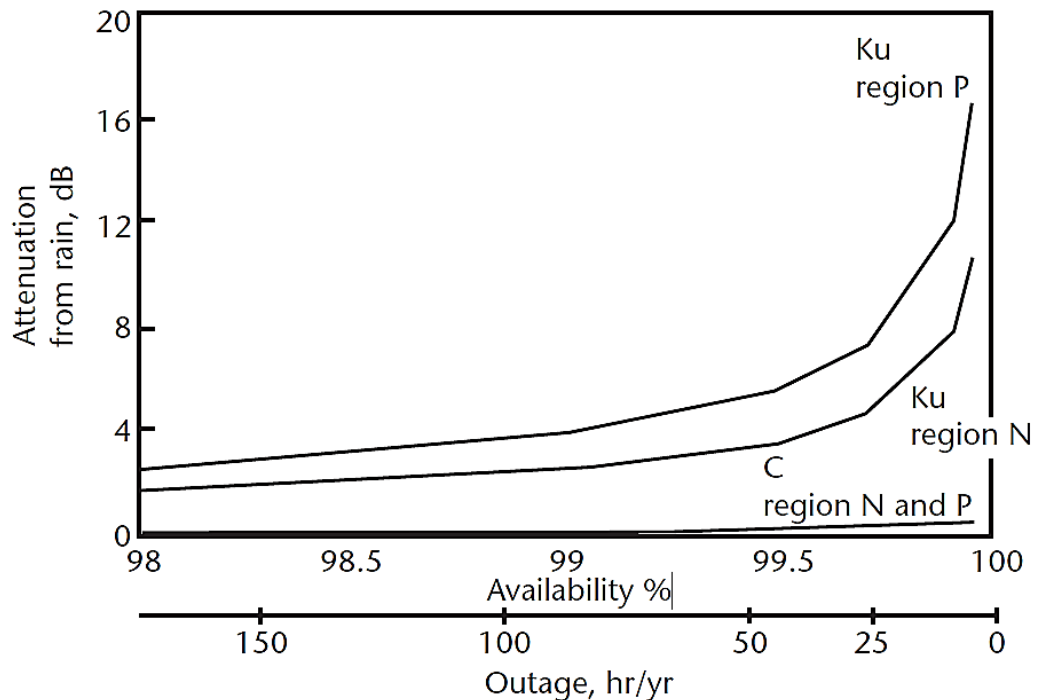


Figura 5. Atenuación de enlaces satelitales en banda C y Ku.

Fuente: Elbert. 2004. The satellite communication applications handbook.

1.1.1.8 Cálculos de enlace satelital.

Respecto a los cálculos del enlace satelital, se considera como una comunicación microonda, donde debe existir una línea de vista entre la tierra y el espacio. La International Telecommunication Union - ITU (2002), afirma:

Una línea imaginaria que se extiende entre la estación terrena transmisora o receptora y la antena del satélite pasa solo a través de la atmósfera y no de obstáculos terrestres, (...). La portadora de RF en cualquier enlace de comunicaciones por microondas comienza en la electrónica transmisora y se propaga desde la antena transmisora a través del medio del espacio libre y la atmósfera absorbente hasta la antena receptora, donde es recuperada por la electrónica receptora. (p. 27).

En la Figura 6 se ilustra un diagrama de bloques de un enlace satelital convencional.

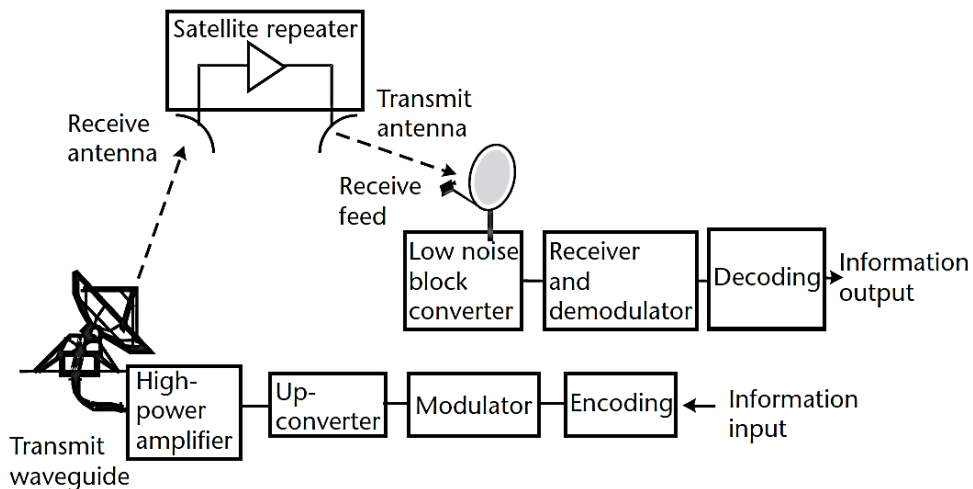


Figura 6. Diagrama de bloques de un enlace satelital.

Fuente: ITU. 2002. The satellite communication applications handbook.

El performance de un enlace satelital es medido mediante el parámetro C/N_0 (carrier to noise ratio). Roddy (2006) afirma. “Un parámetro importante para los sistemas de portadoras es la relación del promedio de potencia de la portadora a la densidad de potencia de ruido, generalmente indicada por $[C / N_0]$, (...). Tiene unidades de dBHz” (p.306). En resumen, un aumento del nivel C/N_0 logra incrementar la potencia de transmisión y disminuir la temperatura de ruido del sistema.

La latencia de un enlace satelital entre un satélite y una VSAT ubicado bajo del satélite es de 238ms de ida y vuelta. Tomasi (2014) afirma. “Se necesita más de un cuarto de segundo para que una onda electromagnética vaya de una estación terrestre a un satélite, y regrese, cuando la estación está directamente abajo del satélite” (p.576).

1.1.1.9 Técnicas de modulación de portadora.

En telecomunicaciones la modulación se aplica para adaptar una señal a un medio de transmisión. Huidobro (2014) afirma. “Modulación es un proceso que consiste en combinar una señal que representa los datos (moduladora) con otra (portadora). La señal obtenida (señal modulada) es susceptible a ser transmitida por un medio por el que, en un principio, no se podría” (p.164).

1.1.1.10 Tecnología TDMA.

La principal característica de la tecnología TDMA es que múltiples usuarios comparten un mismo canal de frecuencia, pero en distintos intervalos de tiempo. Huidobro (2014) afirma. “Divide el canal de transmisión en particiones de tiempo (Time Slots). Comprime las conversaciones digitales y luego las envía utilizando la señal de radio por un periodo de tiempo” (p. 282).

En la figura 7 se muestra como la tecnología TDMA trasmite la información digitalmente a través de *burst* o ráfagas de datos en función del tiempo y frecuencia.

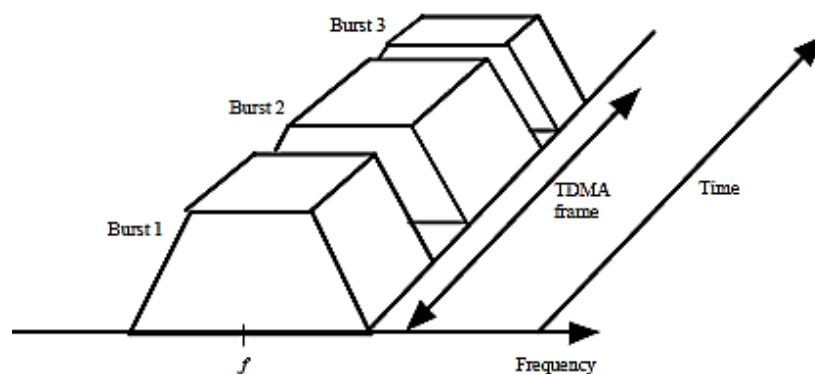


Figura 7. Tecnología TDMA.

Fuente: ITU. 2002. Mobile-sattellite service handbook.

El uso de tecnología TDMA para los enlaces satelitales brinda la sincronización requerida para la operatividad del sistema. Briceño (2009) afirma:

A cada estación terrena se le asigna un intervalo o ranura de tiempo para que ella transmita información; esta asignación la efectúa una estación terrena de referencia que controla la temporización y la sincronización de las estaciones presentes en el sistema. Durante ese intervalo, una estación utiliza todo el ancho de banda del repetidor o “transpondedor” del satélite para enviar una trama que contiene la información a transmitir. En el satélite se recibe una multitrama de TDMA que contiene las tramas de todas las estaciones terrenas. Esta multitrama TDMA se regenera en el satélite y se retransmite a una frecuencia de portadora diferente de la frecuencia de la portadora de entrada. En la práctica a estas frecuencias se las denomina “frecuencias de subida” y “frecuencias de bajada”, respectivamente. (p. 423).

En la figura 8 se muestra el comportamiento de múltiples enlaces satelitales que se sincronizan con un satélite usando la tecnología TDMA.

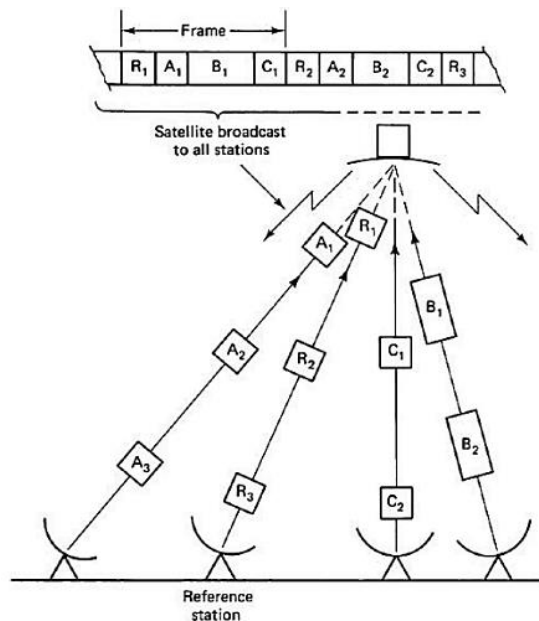


Figura 8. Sincronización de la tecnología TDMA.

Fuente: Roddy. 2006. Satellite communications.

1.1.1.11 Tecnología DVB-S2.

La tecnología DVB-S2 es un estándar utilizado en los enlaces satelitales de banda ancha, representa la segunda generación del estándar DVB-S, diseñado para ser usado en servicios de TV, HDTV y acceso a Internet. La International Telecommunication Union - ITU (2002), afirma: “DVB-S está destinado a cubrir el

alcance de BSS, así como los sistemas de satélite FSS planificados u operativos (anchos de banda en el transponder en el rango de 26MHz a 72MHz)” (p. 211).

En relación con la modulación adaptativa de la tecnología DVB-S. Elbert (2004) afirma. “Los moduladores son programables desde el panel frontal o remotamente para configurar portadoras DVB-S para la tasa de codificación deseada. Algunos tienen la capacidad de cambiar el formato de modulación a 8PSK o 16QAM” (p. 215).

En la figura 9 se muestra un enlace satelital con servicio IP, usando el estándar DVB-S2 con modulación adaptativa.

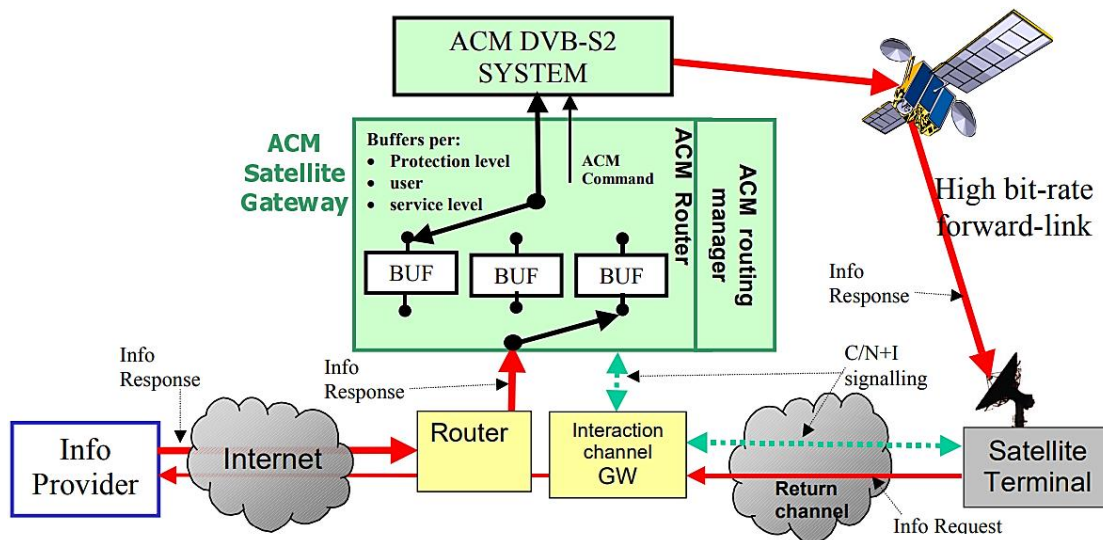


Figura 9. Diagrama del estándar DVB-S2.

Fuente: ETSI. 2015. Technical report ETSI TR 102 376-1.

El estándar DVB-S2 es un estándar regulado por la organización Europea ETSI, la cual ha estandarizado tecnologías de telecomunicaciones. Según la publicación ETSI TR 102376-1, la European Telecommunications Standards Institute – ETSI (2015), afirma:

Cuando se utiliza para aplicaciones interactivas punto a punto como la unidifusión de IP, la ganancia de DVB-S2 sobre DVB-S es aún mayor: la funcionalidad de codificación y modulación variable (VCM) permite utilizar y cambiar diferentes modulaciones y niveles de protección contra errores en un cuadro por cuadro. Esto puede combinarse con el uso de un canal de

retorno para lograr Modulación y Codificación Adaptativa (ACM) de bucle cerrado, lo que permite optimizar los parámetros de transmisión para cada usuario individual, dependiendo de sus propias condiciones de enlace, (...). DVB-S2 es tan flexible que puede adaptarse a cualquier característica de transpondedor de satélite existente, con una gran variedad de eficiencias de espectro y requisitos de C / N asociados. (p. 14).

1.1.1.12 Regulación de comunicaciones satelitales.

En el Perú los servicios satelitales son regulados por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). Según el decreto supremo N°022 el Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC (2010), afirma. “Se aprobó la norma que regula la provisión de Capacidad través de satélites de comunicaciones a los titulares de concesiones y autorizaciones de servicios de Telecomunicaciones que operan en el Perú” (p.1). Así mismo se hace mención que en la decisión 707 de la comisión de la Comunidad Andina se aprobó la norma para autorización de satélites sobre la región de la Comunidad Andina aplicando según corresponda su legislación nacional, reglamento ITU y principio de reciprocidad.

1.1.1.13 Servicios de telecomunicación.

Respecto a la definición de telecomunicación el Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC (2014), afirma. “Es toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza por línea física, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos” (p.4).

En relación con los servicios de radiocomunicación, según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC (2014), afirma. “Implica la transmisión, la emisión o la recepción de ondas radioeléctricas para fines específicos de telecomunicación” (p.5).

1.1.1.14 Telecomunicaciones en el departamento de Loreto.

En la publicación Loreto Compendio Estadístico, INEI (2017) se expone estadísticamente el acceso a las telecomunicaciones de la población según lo recopilado por Encuesta Nacional de Hogares (ENAH) y el Registro Nacional de Municipalidades.

Respecto con el acceso de Internet en los hogares de Loreto, tomando como referencia el compendio estadístico antes mencionado, se observó la carencia del servicio de Internet en la región, dado que solo el 14.5% de hogares tuvo acceso durante el 2016, mientras que en el año 2015 se observó que solo el 9.6% accedió a este servicio, mientras que en el 2014 tan solo fue el 7% de los hogares.

En la tabla 3 se clasificó la evolución porcentual de hogares con acceso a tecnologías de la información y comunicación desde el año 2001 al año 2016.

Tabla 3. Acceso a tecnologías de la información y comunicación en Loreto

Años	Acceso a Tecnología de la Información y Comunicación						
	Radio o Equipo de Sonido	Televisor	Telefonía Fija	Telefonía Celular	Computadora	Internet	TV Cable
2001	55.6	42.1	12.1	2.3	3.2	0.2	-
2002	56.1	46.9	11.6	2.2	2.9	0.7	-
2003	52.9	47.0	10.9	2.9	4.3	0.3	-
2004	60.0	49.2	14.3	4.2	3.6	0.2	-
2005	59.3	47.8	13.1	8.5	4.1	0.7	9.1
2006	62.0	52.8	18.7	12.4	5.6	1.2	9.0
2007	60.0	48.9	20.6	21.9	6.4	1.6	10.4
2008	63.0	54.5	26.2	36.8	9.5	2.3	15.6
2009	62.3	56.5	24.0	42.4	11.2	2.3	15.6
2010	64.1	61.8	24.5	49.7	13.1	2.7	17.9
2011	61.0	61.4	23.5	48.6	13.9	4.5	20.2
2012	61.5	63.7	25.9	55.8	17.6	5.0	22.9
2013	63.4	63.7	20.3	59.1	15.0	3.3	22.7
2014	59.8	65.6	20.1	64.1	18.3	7.0	28.4
2015	55.2	64.8	15.8	66.5	18.3	9.6	32.6
2016	54.5	64.5	13.9	72.3	18.2	14.5	33.9

Fuente: INEI. 2017. Loreto compendio estadístico.

Respecto al tipo de tecnologías de la información en el departamento de Loreto se observa que durante el año 2016, uno de los servicios que estuvo menos presente en los hogares fue el servicio de Internet con un 14.5%, mientras que la telefonía celular representó el 72.3%.

En la figura 10 se muestra el tipo de acceso a tecnologías de la información y comunicación que tuvieron los hogares de Loreto durante el 2016.

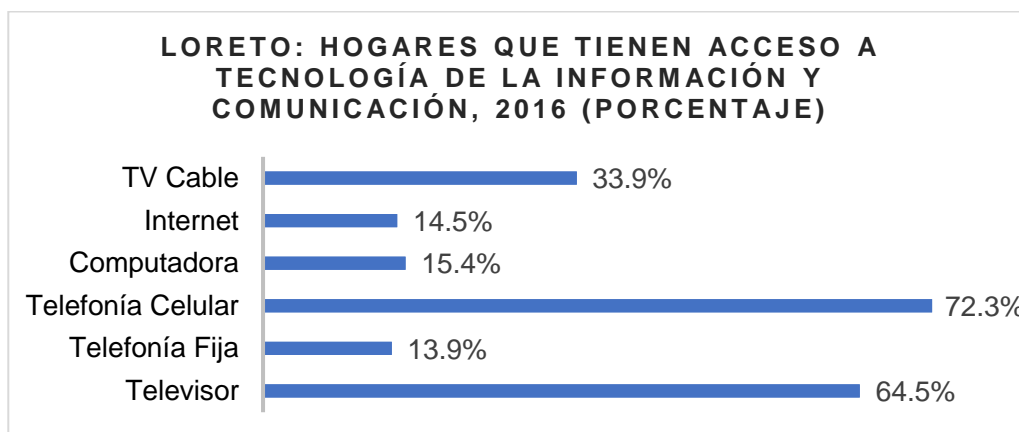


Figura 10. Tipos de tecnología de la información y comunicación en Loreto.

Fuente: INEI. 2017. Loreto compendio estadístico.

1.1.1.15 Factores climáticos en Caballococha.

Uno de los factores determinantes en el performance de los enlaces satelitales es la precipitación. Respecto con el monitoreo meteorológico en la ciudad de Caballococha. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), según la publicación N°070 – SENAMI (2020), afirma: “El mayor acumulado se ha registrado en la estación Caballococha (Loreto)” (p.1).

En la tabla 4 se muestran las 10 ciudades con mayor precipitación a nivel nacional durante 24 horas, muestreadas durante el mes de marzo del 2020; identificándose la ciudad de Caballococha con mayor incidencia de precipitaciones.

Tabla 4. Reporte de precipitación extrema en el Perú.

DEPARTAMENTO	ESTACIÓN	PP(MM)	CLASIFICACIÓN PP
Loreto	Caballococha	105.2	Ext. lluvioso
Puno	Muñani	29.1	Ext. lluvioso
Puno	Putina	29.4	Ext. lluvioso
San Martín	Bellavista	52.2	Ext. lluvioso
Amazonas	Aramango	35	Muy lluvioso
Cusco	Pomacanchi	22.1	Muy lluvioso
Cusco	Quillabamba	32.6	Muy lluvioso
Cajamarca	Cajabamba	18.4	Lluvioso
Cajamarca	Namora	22.5	Lluvioso
Moquegua	Carumas	16.8	Lluvioso

Fuente: SENAMHI. 2020. Monitoreo meteorológico N°070.

1.1.2 Marco teórico específico:

El marco teórico específico está comprendido por artículos de investigación y estado del arte relacionado a los servicios de telecomunicación brindados mediante enlaces satelitales y el uso de banda C. Se revisaron publicaciones en revistas científicas clasificadas dentro de los cuartiles Q1 y Q2 de acuerdo con el ranking Scimago, los cuales se resumen a continuación:

Yanjun et al (2019), en el artículo de revisión *“A Survey on Secure Routing Protocols for Satellite Network”*, publicado en la revista *Network and Computer Applications*, discute sobre los protocolos de enrutamiento que brinden seguridad cibernética a redes satelitales. Los autores exponen que la seguridad se convierte en una preocupación central, especialmente el protocolo de enrutamiento de la red de satélite que garantiza el reenvío normal de los datos de la red. Analizan cuatro aspectos de las tecnologías de seguridad en las redes de satélites actuales. Además, analizan las amenazas a la red de satélites en función del proceso de enrutamiento y clasifican los protocolos de enrutamiento seguro. La investigación concluye que la capacidad de multidifusión, el potencial de cobertura global y la periodicidad de la constelación de satélites les permite ser aplicados en diversos escenarios. Cada escenario diferente tiene un propio conjunto de requisitos de seguridad en el protocolo de enrutamiento. Una dificultad adicional para diseñar un protocolo seguro radica en el escenario de la aplicación que se va a proteger.

En base a lo mencionado por la revisión de Yajun et al, se recomienda manejar protocolos de red seguros que garanticen la seguridad cibernética del enlace satelital y mitigar ataques que afecten la operatividad del servicio satelital.

Burleigh et al (2019), en el artículo de revisión *“From Connectivity to Advanced Internet Services: A Comprehensive Review of Small Satellites Communications and Networks”*, publicado en la revista *Wireless Communications and Mobile Computing*, discute sobre el despliegue de satélites pequeños con el propósito de brindar servicios de Telecomunicaciones. Los autores examinan las características operativas de los satélites pequeños que contribuyen al éxito y exponen una descripción general de los avances recientes y las tendencias de desarrollo en el campo de los satélites pequeños, con un enfoque especial en los aspectos de las telecomunicaciones, como el uso de bandas de frecuencia más

altas, comunicaciones ópticas, nuevos protocolos y arquitecturas. La investigación concluye que han identificado a los sistemas de satélite como una posible solución para la infraestructura autónoma y como complemento de las redes terrestres. Los sistemas HTS podrían desempeñar un papel clave en algunos de los escenarios de aplicación 5G una vez que sean capaces de proporcionar velocidad de datos extremadamente alta. Sin embargo, en muchos otros escenarios de aplicaciones 5G que se centran en las comunicaciones M2M o requieren una latencia extremadamente baja, solo las constelaciones de satélites pequeños pueden realmente proporcionar un complemento eficaz para los sistemas terrestres.

Considerando lo mencionado por Burleigh et al, los mercados y tecnologías de los sistemas satelitales tienen un enfoque de compatibilidad técnica hacia soluciones de Internet terrestre como el 5G.

Kim et al (2020), en la investigación *“Propagation From Geostationary Orbit Satellite to Ground Station Considering Dispersive and Inhomogeneous Atmospheric Environments”*, publicado en la IEEE Explore, discutió sobre el impacto de los efectos atmosféricos sobre un enlace satelital de órbita GEO. Los autores exponen un método novedoso para calcular la propagación desde un satélite de órbita geoestacionaria a una estación terrestre considerando entornos atmosféricos dispersivos y no homogéneos con una antena reflectora parabólica de satélite real. El método se verifica comparándolo con los resultados con el método de predicción de la atenuación debida a la lluvia que figura en ITU-R P.618-13 y el modelo unificado. Se calculan y discuten la atenuación atmosférica y los errores de puntería de un satélite GEO a una estación terrestre. La investigación concluye que el método de simulación propuesto se basa en una aproximación de alta frecuencia que incluye PO, técnica de trazado de rayos 3-D y GO.

Ante lo expuesto por Kim et al, el factor climático juega un rol determinante en relación con el apuntamiento de una estación terrestre hacia un satélite geoestacionario específico.

Lagunas et al (2020), en la investigación *“5G Cellular and Fixed Satellite Service Spectrum Coexistence in C-Band”* publicado en la IEEE Explore, discutió sobre coexistencia de estaciones terrestres satelitales que usan banda C con la tecnología 5G, los autores presentan un análisis detallado tanto del enlace

ascendente como del enlace descendente de 5G, considerando el impacto de las emisiones fuera de banda, potencial saturación Low-Noise Block (LNB) en los FSS de estación terrestre y las consecuencias del despliegue de Active Antenna System (AAS) en las estaciones base terrestres (BS). El trabajo también propone y evalúa técnicas potenciales que se podrían aplicar para facilitar la coexistencia de ambos sistemas. La investigación concluye que se relaja las interferencias apagando las BS ubicadas cerca de la estación terrestre FSS de recepción y que las técnicas para evitar interferencias deben aplicarse para evitar la saturación de LNB, incluso cuando en el 5G el enlace descendente celular no se superpone con el sistema de satélite.

Considerando lo mencionado por Lagunas et al, a pesar de que las frecuencias de banda C satelital compartirán un mismo rango de frecuencias con la tecnología 5G es viable la coexistencia de ambas tecnologías.

Sun et al (2019), en la investigación “Modeling and Calibrating the Ground-Surface Beam Pointing of GEO Satellite”, publicado en la IEEE Explore, discutió sobre la problemática de apuntamiento de los satélites por algunas variables y propone una alternativa de cálculo de mejora. Los autores indican que, debido a varios factores inesperados, por ejemplo, la imperfecta órbita del satélite, la posición y la deformación de la antena, el práctico *beam* del satélite apuntando a la superficie terrestre se desviará desafortunadamente del diseño teórico causando la deriva de la cobertura terrestre no deseada en las aplicaciones de ingeniería. La investigación concluye que la calibración de la puntería del *beam* de la superficie del suelo en tiempo real se logra con la ayuda de coeficientes de acoplamiento estimados. Las simulaciones numéricas muestran que el método de calibración propuesto puede suprimir suficientemente la desviación de cobertura, reduciendo la desviación máxima de puntería de la superficie del suelo en aproximadamente un 78.26%. Los mecanismos propuestos pueden proporcionar amplias referencias para los diseños y aplicaciones de sistemas prácticos de comunicación satélite-terrestre y redes 5G altamente confiables y eficientes.

Tomando como referencia lo indicado por Sun et al, la huella del satélite no es exactamente precisa en relación con la zona de cobertura proyectado, por lo tanto, es probable que las antenas que se encuentran al borde de la huella teórica tengan baja recepción de PIRE.

1.2 Definición de términos básicos:

- *ACM (Adaptive Coding and Modulation)*: Tecnología que usa un algoritmo que permite cambiar dinámicamente la codificación y modulación basado en factores atmosféricos y configuraciones de red.
- *Antena*: Equipo que transmite y recibe ondas electromagnéticas.
- *Bandwith*: Tasa de transferencia de datos, expresado en bits por segundo.
- *Beam*: Señal de satélite que cubre un área geográfica determinada
- *BUC (Block Upconverter)*: Usado para la transmisión del *uplink* del enlace satelital.
- *C/N (Carrier to Noise Ratio)*: Relación entre la potencia de portadora recibida y la potencia de ruido en un ancho de banda dado.
- *CIR (Committed Information Rate)*: El mínimo *bandwith* garantizado por un proveedor de servicios.
- *Downlink*: Transmisión de una señal del satélite a la tierra.
- *DVB-S (Digital Video Broadcasting Satellite)*: Estándar de transmisión de banda ancha por satélite y tiene especificaciones de modulación y corrección de errores hacia adelante.
- *Estación terrestre*: Equipo terrestre que transmite y recibe ondas electromagnéticas.
- *EIRP (Effective Isotropic Radiated Power)*: fuerza de la señal del satélite en dBW y es el resultado de la potencia de salida del transpondedor y la ganancia de la antena transmisora del satélite.
- *FEC (Forward Error Correction)*: Sistema de control de errores que tiene el remitente que incluye datos redundantes para que los errores se puedan detectar y corregir en el receptor.
- *Feed*: elemento usado en antenas parabólicas para la transición y recepción de ondas.
- *FSS (Fixed Satellite Service)*: Es la clasificación de los satélites de comunicaciones geoestacionarios.
- *GEO (Geostationary Earth Orbit)*: Órbita a 35.786 km sobre el Ecuador en la misma dirección y velocidad que la Tierra gira sobre su eje.

- *HUB*: Equipo de red satelital que controla la asignación de ancho de banda satelital, ubicado en un telepuerto.
- *ITU (International Telecommunication Union)*: Agencia especializada de las Naciones Unidas responsable en tecnologías de telecomunicación.
- *LNB (Low Noise Block Downconverter)*: Utilizado para la transmisión por satélite de enlace descendente al convertir una banda de una frecuencia más alta a una frecuencia más baja.
- *MIR (Maximum Information Rate)*: Representa el máximo *bandwidth* que entrega un abonado.
- *Módem*: equipo de red que contiene un modulador y demodulador para recibir o transmitir señales de satélite.
- *NMS (Network Management System)*: Es el hardware y software que monitorea y controla una red satelital.
- *NOC (Network Operations Center)*: Se denomina así al centro de operaciones de red que monitorea redes, resuelve incidentes y atiende incidentes.
- *OMT (Orthomode Transducer)*: Componente que separa las señales microondas en polarización ortogonal.
- *Polarización*: Técnica utilizada por los operadores de satélites para reutilizar las frecuencias de los transpondedores del satélite al transmitir estas señales a la Tierra.
- *SNR (Signal to Noise Ratio)*: Representa la fuerza de la señal en relación con el ruido.
- *TCP (Transmission Control Protocol)*: Es un protocolo de Internet central.
- *UDP (User Datagram Protocol)*: Es un protocolo de red a nivel de transporte.
- *Uplink*: Transmisión de una señal desde el enrutador remoto a un satélite.
- *VSAT (Very Small Aperture Terminal)*: Antena que típicamente mide menos de 3 metros de diámetro.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL

El presente trabajo de suficiencia profesional se diseñó en el NOC del proveedor satelital durante el mes de noviembre del 2019 con el fin de brindar acceso a Internet fijo donde otras tecnologías de telecomunicación no fueron viables de instalar. En cuanto a la metodología empleada, se abordaron etapas de diseño, implementación y verificación de la certificación satelital.

El diseño del enlace satelital tomó como factor principal las características climatológicas de la ciudad de Caballococha, el ancho de banda solicitado, disponibilidad de recursos de red y hardware del operador satelital. El diseño fue configurado en el NMS y el hardware testado mediante pruebas de laboratorio con el fin de corroborar la operatividad del enlace. Posterior a las pruebas laboratorio, el enlace fue instalado por el área técnica en la ubicación indicada por el Operador de Telecomunicaciones dentro de la ciudad de Caballococha; con el fin de garantizar buen performance del diseño, primero se verificó la certificación satelital mediante el test xpol; por consiguiente, se halló la máxima potencia de transmisión mediante el test de compresión a 1dBm para evitar que el amplificador del BUC opere en saturación deformando la señal transmitida. Después de concretarse las validaciones de transmisión y recepción satelital se realizaron pruebas de conectividad ICMP mediante verificaciones a nivel WAN y LAN, adicionalmente se realizó la saturación del canal satelital para garantizar el MIR del ancho de banda.

En relación con el contexto laboral, el ingeniero NOC del proveedor satelital cumple con la resolución de incidentes y atención de requerimientos, por lo tanto, se encarga de los diseños de enlaces satelitales en la red del proveedor satelital.

2.1 Delimitación temporal y espacial del trabajo.

Delimitación Temporal.

El presente trabajo de suficiencia profesional se realizó en el mes de noviembre del 2019. Las etapas de diseño, configuración y pruebas de laboratorio se efectuaron durante un turno laboral, la instalación del enlace satelital en Caballococha se realizó durante 2 días por el área técnica.

Delimitación Espacial.

El presente trabajo de suficiencia profesional se instaló en la ciudad de Caballococha, provincia Mariscal Ramón Castilla del departamento de Loreto; cerca de la frontera con los países de Colombia y Brasil.

2.2 Determinación y análisis del problema.

Según las estadísticas, las zonas rurales del Perú presentan brechas de accesos a servicios de Telecomunicaciones, aproximadamente son 15000 localidades a nivel nacional con esta dificultad, el acceso al Internet es indispensable para el desarrollo de una nación, según el Banco Mundial se estima que por cada 10% de conexiones de Internet el PBI podría incrementarse aproximadamente en un 1.4%.

En relación con la carencia de conectividad de Internet en la ciudad de Caballococha del departamento de Loreto, el Operador de Telecomunicaciones optó por arrendar un enlace satelital debido a la ausencia de otras tecnologías de telecomunicación que brinden cobertura de Internet fija alámbrica a la oficina de una institución dedicada al control migratorio de la ciudad de Caballococha. El enlace satelital arrendado provee de Internet, brinda acceso a la red privada de la institución, cuenta con una disponibilidad del 99%, capacidad de 4Mbps de *downstream* y 2Mbps de *upstream*. Por otro lado, la institución tiene como principal misión resguardar el control migratorio del país en el paso fronterizo con los países vecinos de Colombia y Brasil, mitigando la migración irregular, así como la reducción de actividades ilícitas como minería ilegal, lavado de activos, extorciones, trata de personas, contrabando, crimen organizado y otras actividades de repudio social; ante lo expuesto es indispensable el acceso a Internet para que la institución cumpla sus funciones.

Los enlaces satelitales están expuestos a degradación en los niveles de transmisión y recepción por factores climáticos adversos. Para el INEI la ciudad de Caballococha es clasificada como zona rural amazónica, mientras que para el Senamhi es clasificada como selva tropical muy húmeda, muy lluviosa y agrupándola entre las 10 ciudades con mayores precipitaciones en el Perú, en

consecuencia, el enlace satelital ha sido diseñado en banda C para garantizar la disponibilidad del canal frente al clima amazónico, superando así la problemática de factor climático.

Problema general:

- ¿De qué manera el diseño de un enlace de internet satelital certificado en banda C conexas a un operador de telecomunicaciones en la ciudad de Caballococha, departamento de Loreto?

Problemas específicos:

- ¿Cómo se diseña un enlace satelital con tecnología TDMA que garantice el transporte de tráfico de Internet desde Lima hacia Caballococha?
- ¿Cómo se configura el enlace satelital en el sistema de gestión de red para obtener conectividad de radiofrecuencia e ICMP?
- ¿Cómo se verifican los parámetros de telemetría, la certificación satelital y la tasa máxima de transferencia de información?

El ingeniero NOC en función de sus labores resuelve problemas de gestión y técnicos acontecidos en las etapas de diseño, implementación, pruebas de laboratorio, certificación e incidentes de servicios de comunicación satelital.

2.3 Modelo de solución propuesto.

El modelo de solución propuesto inició con el diseño del enlace de Internet satelital; tras el análisis del clima en la ciudad de Caballococha se determinó el uso de banda C por su baja atenuación frente a precipitaciones. También se analizó la cantidad de tráfico que cursaría el canal satelital, optándose por la tecnología TDMA/DVB-S2 como idónea; la etapa de diseño finaliza con la configuración del enlace satelital en el sistema de gestión de red. La verificación de la certificación satelital se realizó en 2 oportunidades, primero mediante pruebas de laboratorio evaluando así el diseño y hardware, posterior a ello se verificó durante la instalación del enlace satelital en Caballococha. El flujo de solución propuesto finaliza con

pruebas de conectividad que garanticen el acceso a Internet y a la red privada del Operador de Telecomunicaciones a través del enlace satelital (ver anexo A).

En la figura 11 se muestra el flujo de solución propuesto para el diseño del enlace satelital certificado en Banda C.

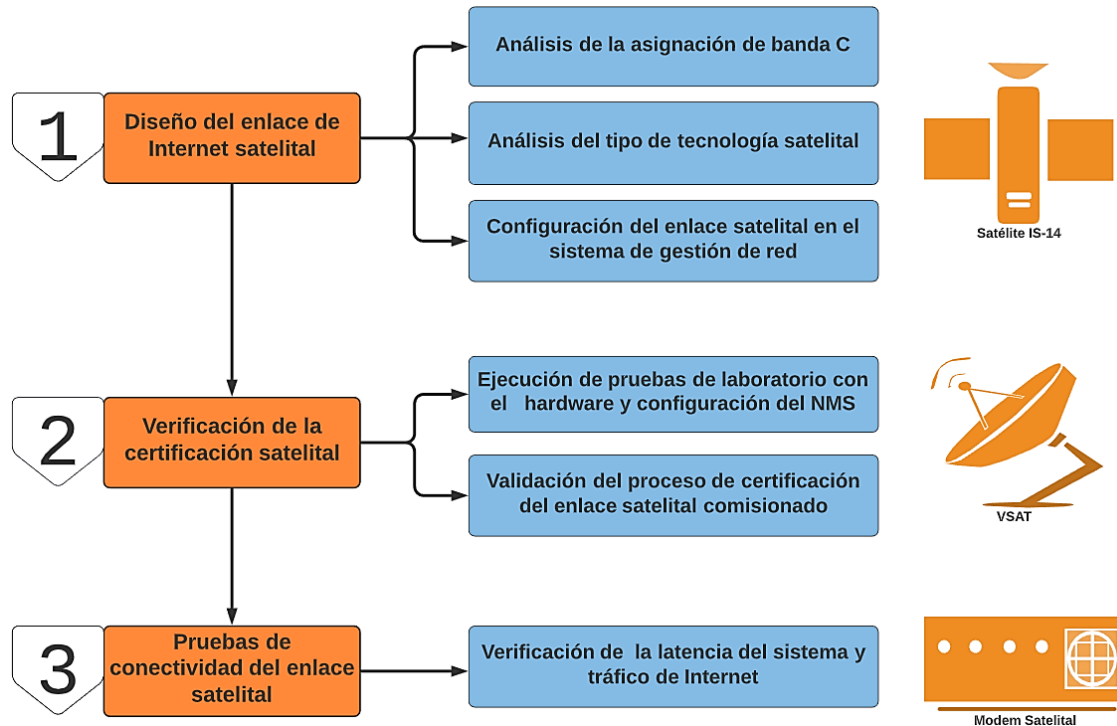


Figura 11. Flujo de diseño de enlace satelital en banda C.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.1 Diseño del enlace de Internet satelital.

El diseño de solución propuesto ha tomado como base teórica los conceptos descritos en el capítulo 1, los criterios de diseño se fundamentan en las recomendaciones publicadas por la ITU, la recomendación ITU-R S.524-9 describe los máximos niveles de PIRE para estaciones geoestacionarias en banda C; la recomendación ITU-R S.736-3 estima los parámetros y niveles de polarización de los enlaces FSS; la recomendación ITU-R S.1844 formula el cálculo de ganancia para antenas VSAT en polarización lineal, los diagramas de radiación de las antenas satelitales se certifican bajo la recomendación ITU-R S.580-6. Adicionalmente el ingeniero NOC ha sido capacitado bajo entrenamientos basados en la recomendación ITU-R S.2049 para diseñar y gestionar enlaces FSS.

2.3.1.1 Análisis de la asignación de banda C.

El inicio del planeamiento de un enlace satelital se realiza primero con el estudio de la futura localización del enlace, la cual se realizó mediante aplicaciones web que permiten evaluar de manera virtual las características climatológicas de la zona, con el fin de determinar que banda de frecuencia tendrá un mejor performance. No es viable la realización de una visita técnica previa a ejecutar la instalación, por el difícil acceso a las zonas rurales.

En la figura 12 se muestra el mapa climático nacional donde se identifica de manera genérica los climas de las regiones del Perú, siendo la Selva Tropical muy húmeda y lluviosa.

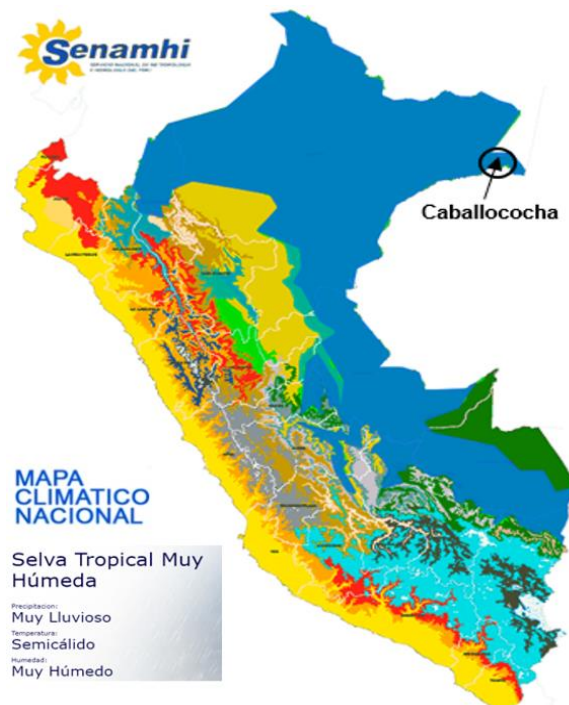


Figura 12. Mapa climático del Perú.

Fuente: Senamhi. Recuperado de: www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru.

En las verificaciones realizadas se determinó que la ciudad de Caballococha es una ciudad con mucha incidencia de precipitaciones (ver anexo K), por lo que se diseñó el enlace en banda C debido a que el nivel de atenuación frente a precipitaciones es menor en relación con las bandas Ku y Ka. En el telepuerto del proveedor satelital también se cuentan con antenas maestras que envían y reciben tráfico en banda Ku, pero se recomienda esta banda para sitios remotos donde la incidencia de precipitaciones es menor. Incluso mediante socios estratégicos de

provisión satelital se brindan servicios de tránsito de Internet en banda Ka, pero debe ser implementado en zonas donde las precipitaciones son casi nulas.

En la figura 13 se muestra la incidencia de precipitaciones en la ciudad de Caballococha y el comportamiento climático durante una semana donde se evidencian constantes precipitaciones.

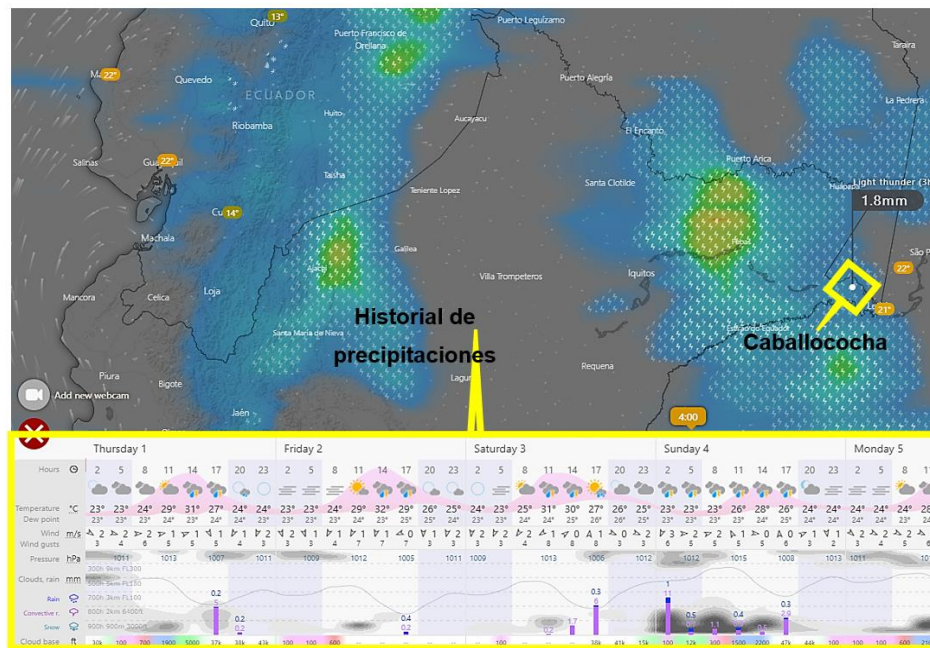


Figura 13. Historial de precipitaciones en Caballococha.

Fuente: www.windy.com

2.3.1.2 Análisis de cobertura de la huella del satélite.

En relación con las huellas o *beams* de los satélites, se revisaron las características técnicas de los satélites que operan en banda C y cuales cubren la zona. Estando los satélites geostacionarios ubicados en una órbita que permite una amplia cobertura, es necesario asegurar el acceso al transpondedor que opere con el *beam* específico a utilizar. En el telepuerto del proveedor satelital se cuenta con la posibilidad de usar los satélites Galaxy 28(G-28) e Intelsat 14(IS-14) como medio de transmisión y recepción de tráfico satelital para implementar enlaces remotos, ambos satélites tienen cobertura de banda C para Sudamérica y cuentan con un *beam* de PIRE bastante significativo para Perú, mientras que el Galaxy 28 tiene un PIRE de 44dBW, Intelsat 14 tiene un PIRE de 43.5dBW. Según el MTC el operador satelital Intelsat está registrado para brindar servicios de capacidad satelital en Perú (ver anexo J).

En la figura 14 se muestra el PIRE de la banda C de los satélites Galaxy 28 e Intelsat 14.

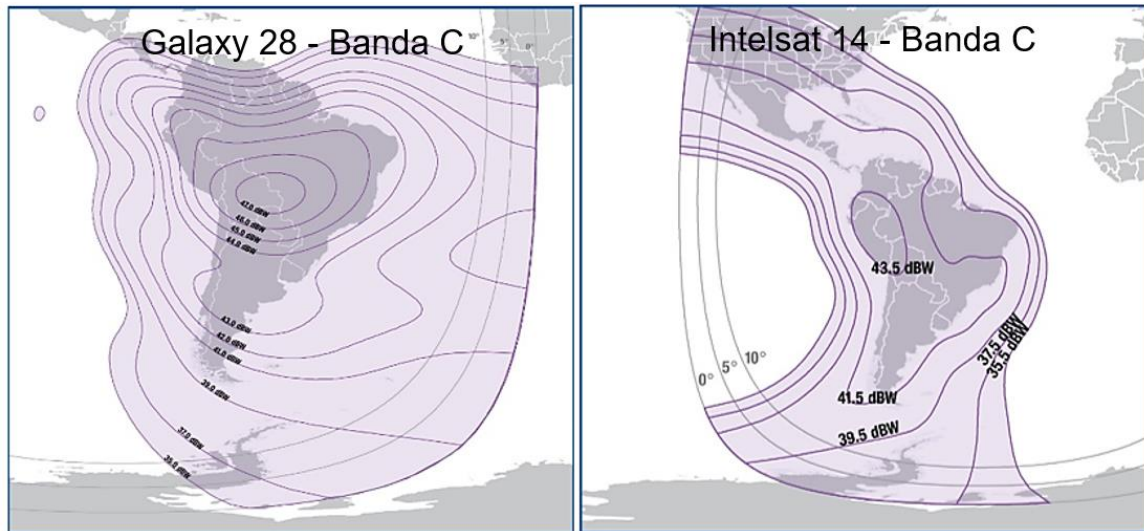


Figura 14. PIRE de banda C en Galaxy 28 e Intelsat 14.

Fuente: Intelsat. Recuperado de: www.intelsat.com/fleetmaps/

2.3.1.3 Verificación de línea de vista.

En el análisis sobre que satélite usar se verificó la línea de vista hacia los satélites disponibles, para identificar la línea de vista se observó la posición del satélite en la órbita geoestacionaria en relación con las coordenadas geográficas brindadas por el Operador de Telecomunicaciones, Galaxy 28 se encuentra en 89° Oeste, mientras que Intelsat 14 está ubicado en 45° oeste.

En la figura 15 se simula la línea de vista de la VSAT hacia el satélite Galaxy 28 y una posible obstrucción de línea de vista.

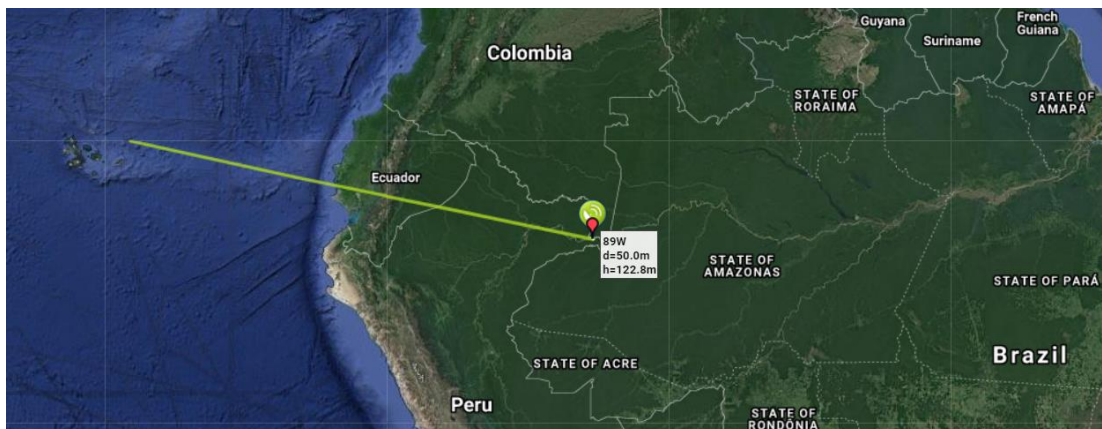


Figura 15. Línea de vista hacia Galaxy 28.

Fuente: www.dishpointer.com

En la figura 16 se simula la línea de vista de la VSAT hacia el satélite Intelsat 14 y una posible obstrucción de línea de vista.

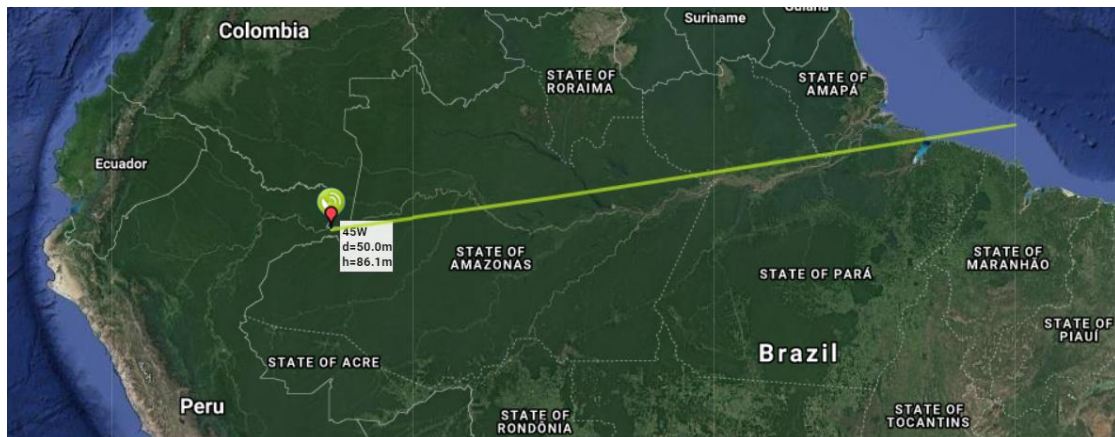


Figura 16. Línea de vista hacia Intelsat 14.

Fuente: www.dishpointer.com

2.3.1.4 Determinación del satélite geoestacionario.

Un factor determinante que se consideró fue el tiempo de vida estimado de un satélite, se estima que un satélite cuenta con combustible para orbitar en órbita geoestacionaria por un periodo promedio de 15 años, posterior a este periodo el satélite entrará en órbita inclinada y conforme pase el tiempo se irá alejando de la posición inicial en la órbita geoestacionaria. Un satélite en órbita inclinada no es eficiente para los sistemas FSS con antenas fijas, sin embargo, se siguen utilizando para sistemas de antenas de seguimiento automático. En la revisión del tiempo de vida de Galaxy 28 se observó que fue puesto en órbita en junio del 2005, por lo tanto está próximo a entrar a órbita inclinada, mientras que Intelsat 14 fue puesto en órbita en noviembre del 2009 y se mantendrá operando en órbita geoestacionaria durante un par de años más, siendo determinante implementar el enlace satelital con el satélite Intelsat 14(IS-14).

2.3.1.5 Cálculos de direccionamiento de la antena del enlace satelital.

En las verificaciones de la huella o *beam* del satélite se calcula el direccionamiento correcto de la antena del lado remoto hacia el satélite IS-14 mediante el cálculo de azimut y elevación para buen performance del enlace y no genere interferencias a satélites adyacentes.

a) Cálculo de azimut y elevación.

El cálculo de azimut y elevación es realizado mediante ecuaciones matemáticas, también se calcula de manera simplificada mediante el uso del patrón de elevación y azimut predefinidos. Considerando que nuestra estación terrestre remota se implementó en la ciudad de Caballococha, departamento de Loreto, ubicado en las coordenadas latitudinales de 3.908° sur y coordenadas longitudinales de 70.514° oeste; para usar el patrón predefinido debemos hallar primero la diferencia entre la longitud de la estación terrestre y la longitud del satélite, como se muestra en la ecuación 1, luego se interseca el resultado en función del valor de latitud.

$$\Delta L = \text{Longitud}_1 - \text{Longitud}_2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

Longitud₁ = longitud de la estación terrestre, Longitud₂ = longitud del satélite

Longitud₁ = 70.514° oeste, Longitud₂ = 45° oeste

$$\Delta L = 25.514^\circ$$

En la figura 17 se muestra el cálculo del ángulo de elevación de la antena al interceptar el valor de latitud con la diferencia de los valores de longitud en el patrón predefinido, hallándose que el ángulo de elevación es de 82° aproximadamente.

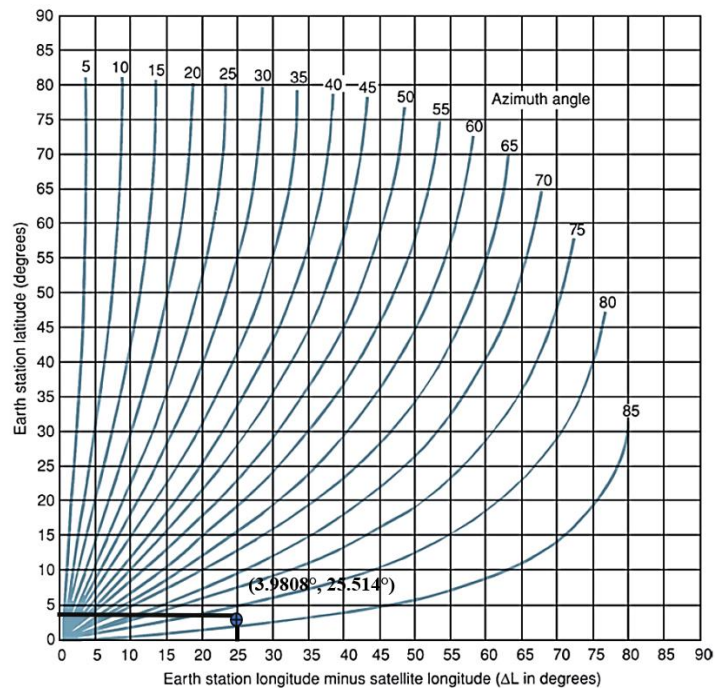


Figura 17. Cálculo de azimut.

Fuente: Tomasi. 2014. Advanced Electronic Communications System.

En la figura 18 se muestra el cálculo del ángulo de azimut de la antena para interceptar el valor de latitud con la diferencia de los valores de longitud en el patrón predefinido, hallándose que el ángulo de azimut es de 60° aproximadamente.

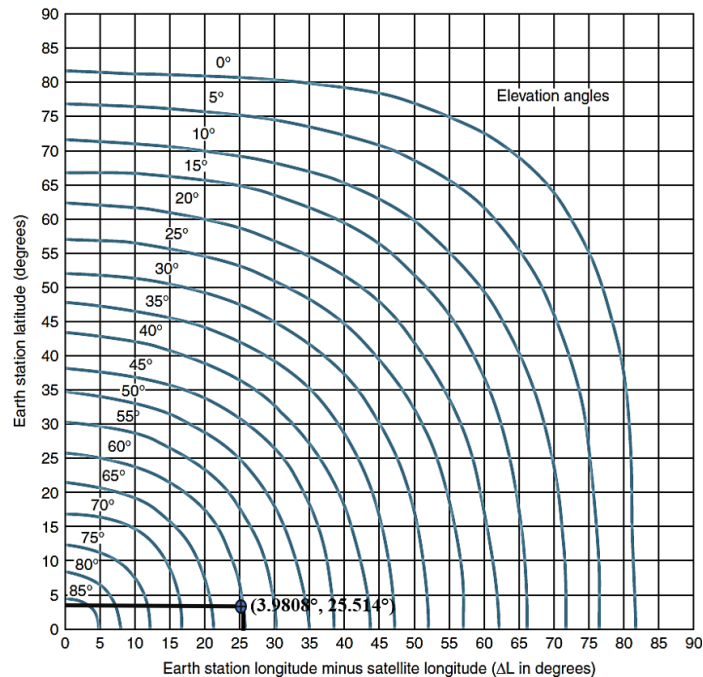


Figura 18. Cálculo de elevación.

Fuente: Tomasi. 2014. Advanced Electronic Communications System.

En la figura 19 se muestra que el cálculo estimado del ángulo de azimut fue de 81.8° y el ángulo de elevación fue de 91° a través de una herramienta web, siendo valores aproximados a los hallados en los patrones predefinidos.



Figura 19. Cálculo de azimut y elevación.

Fuente: www.dishpointer.com

b) Cálculo de ángulo de polarización.

El ángulo de polarización es fundamental para optimizar la red y garantizar la reutilización de la misma frecuencia asignada para diferentes transpondedores en un sistema satelital, el reúso de frecuencias es una metodología que permite ampliar la capacidad satelital. El enlace satelital diseñado en IS-14 usa el transpondedor A40C de banda C con una polarización lineal, la transmisión es de polarización horizontal y la recepción es de polarización vertical, mientras que el ancho de banda del canal es de 72MHz con frecuencia central de 6222MHz cumpliendo con el estándar IESS-601 (ver anexo I).

En la figura 20 se muestra el transpondedor y polarización de la red IS-14.

Upstream Transponder	A40CH_A40CV
Center Frequency	6222.000000 MHz
Bandwidth	72.000000 MHz
Tx Polarization	Horizontal
Rx Polarization	Vertical

Figura 20. Polarización en la red IS-14.

Fuente: Proveedor satelital. Elaborado mediante el software iBuilder.

En la figura 21 se ilustra una guía rápida de la configuración del ángulo de polaridad lineal.

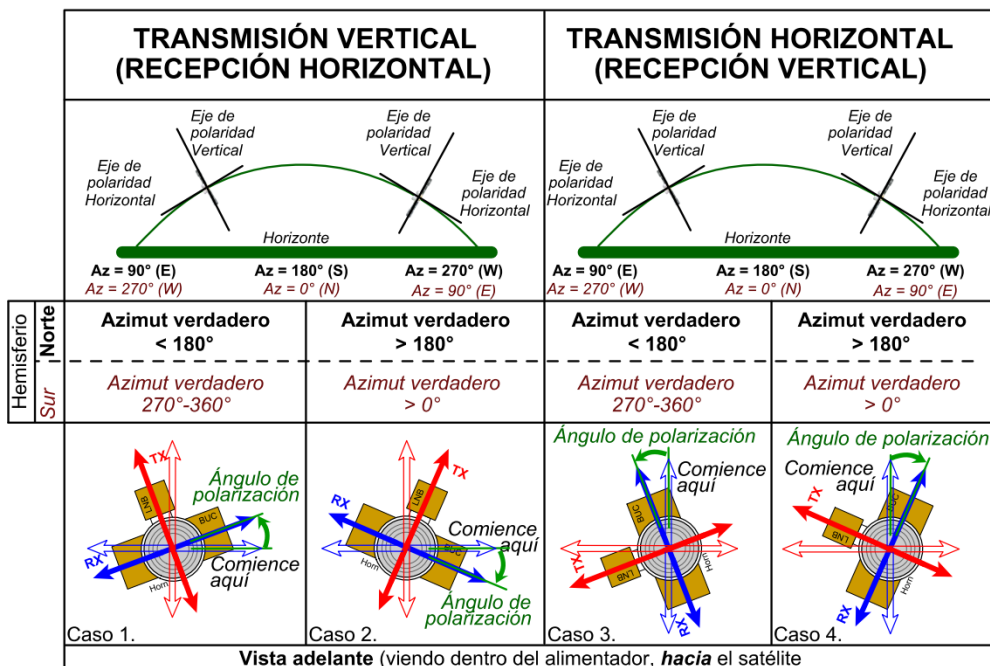


Figura 21. Guía rápida de polarización.

Fuente: Global VSAT Forum. 2014. SP-REF-001.

En caso se configure la polarización de manera inversa en los equipos de transmisión y recepción el módem satelital no podrá unirse a la red. Se tomó como referencia el fragmento de la hoja de referencia rápida mostradas en la figura 21, contrastándolos con los valores de azimut y polarización se efectuó el posicionamiento del BUC y LNB como el caso 4 y luego se roto el polarizador aproximadamente 81° en sentido contra horario según el cálculo hallado en la figura 19 donde se describe este parámetro como LNB skew.

2.3.1.6 Análisis del tipo de tecnología satelital.

El Operador de Telecomunicaciones solicitó un enlace satelital con ancho de banda de 2048 Kbps de *downstream* y 1024 Kbps de *upstream* con un CIR de 1/6 equivalente a 341.3 Kbps en *downstream* y 170.6 Kbps en *upstream*. Dentro de las topologías de tecnología satelital, se analizó la posibilidad de realizar la implementación bajo el esquema de SCPC o TDMA.

La tecnología SCPC (single channel per carrier) demanda el uso de un par de portadoras dedicadas solo para 2 estaciones terrestres, una para la antena maestra en el HUB y otra para la antena remota. El uso de frecuencias dedicadas para este tipo de enlace permite transportar tráfico significativo por el canal satelital, generalmente esta tecnología es recomendada para anchos de banda grandes y servicios tipo *Backhaul* de extensión de estaciones base. Se optó por implementar el enlace satelital con la tecnología TDMA que satisface el ancho de banda requerido por el Operador de Telecomunicaciones, bajo este esquema una antena maestra del HUB se enlaza con el satélite IS-14 a través del transpondedor A40C y ese mismo transpondedor reenvía data hacia múltiples antenas remotas.

La red TDMA usa el hardware del fabricante iDirect con topología de configuración en modo estrella, la cual se caracteriza porque muchas VSAT o estaciones remotas comparten solo una portadora desde el HUB, por el lado de las estaciones remotas reciben toda la data enviada desde el HUB pero toma el paquete de data correspondiente y descarta el resto; en viceversa cada estación satelital remota transmitirá data en *burst* que son sincronizados y llegan al HUB bajo un mismo canal e intervalo de tiempo (ver anexo F).

En la figura 22 se presenta la topología de la tecnología TDMA bajo la configuración en modo estrella para comunicación satelital broadcast y direccional.

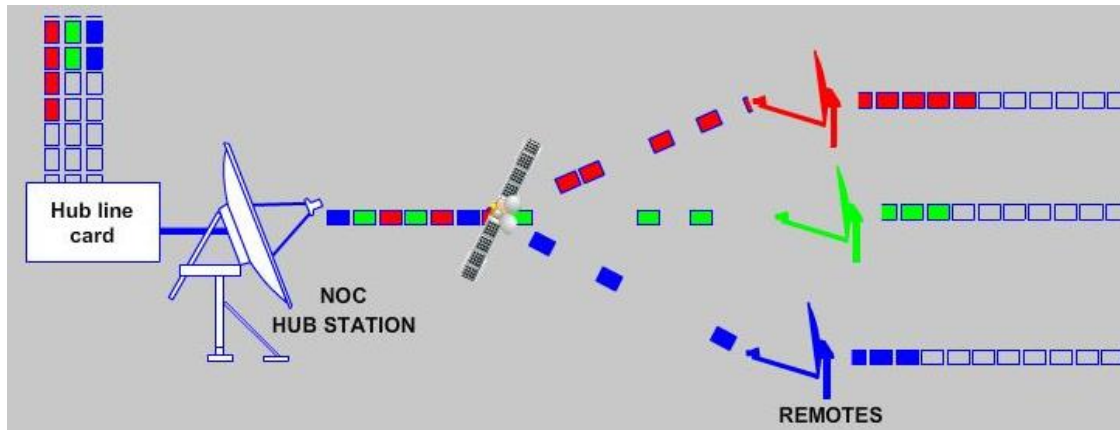


Figura 22. Tecnología TDMA

Fuente: Satprof. 2011. iDirect remote terminal installation.

2.3.1.7 Cálculo de ancho de banda.

El cálculo de ancho de banda se define mediante los parámetros de modulación de la red donde será configurado el enlace satelital. La red es de tecnología TDMA adaptativa, por lo tanto, usa varias portadoras con diferentes modulaciones y *symbol rate*, pero es indispensable identificar qué tipo de modulación debe configurarse en la red para garantizar la capacidad requerida.

En la figura 23 se muestra la distribución de *symbol rate*, modulación, y frecuencias de la red de IS-14.

ID	Hub	Carrier	Type	Freq Uplink/Down...	Informatio...	Symbol Ra...	Chip Rate ...	Throughp...	MODCOD/Spreadi...	C/No (dB...
1	LIM_C2_...	LIM_JS14_N1_A...	Static	6410.9 / 4185.9	1413.00	942.00	942.00	1183.10	QPSK3/4	67.34
2	LIM_C2_...	LIM_JS14_N1_A...	Static	6394.8 / 4169.8	907.00	907.00	907.00	728.06	QPSK1/2	63.38
3	LIM_C2_...	LIM_JS14_N1_A...	Static	6412.0 / 4187.0	1413.00	942.00	942.00	1183.10	QPSK3/4	67.34
4	LIM_C2_...	LIM_JS14_N1_A...	Static	6402.3 / 4177.3	3800.00	3800.00	3800.00	3033.60	QPSK1/2	69.60
5	LIM_C2_...	LIM_JS14_N1_A...	Static	6405.4 / 4180.4	1793.33	1345.00	1345.00	1446.02	QPSK2/3	67.19
6	LIM_C2_...	LIM_JS14_N1_A...	Static	6397.1 / 4172.1	2721.00	1814.00	1814.00	2265.09	QPSK3/4	70.19
7	LIM_C2_...	LIM_JS14_N1_A...	Static	6407.4 / 4182.4	2682.67	2012.00	2012.00	2153.86	QPSK2/3	68.94
8	LIM_C2_...	LIM_JS14_N1_A...	Static	6409.4 / 4184.4	2137.50	1425.00	1425.00	1779.71	QPSK3/4	69.14
9	LIM_C2_...	LIM_JS14_N1_A...	Static	6370.8 / 4145.8	5400.00	4050.00	4050.00	4277.38	QPSK2/3	71.97

Figura 23. Distribución de modulación.

Fuente: Proveedor satelital. Elaborado mediante el software iBuilder.

El enlace debe garantizar el MIR 2048 Kbps, con modulación QPSK1/2, QPSK2/3 o QPSK3/4, se determinó el uso del *symbol rate* 1425 ksym con modulación de QPSK3/4 garantiza el CIR de 2048 Kbps. Para calcular que tipo de *symbol rate* y modulación se utilizó la ecuación 2.

$$\text{Symbol Rate} = \frac{\text{Data Rate}}{(n \times \text{FEC})} \dots\dots\dots (2)$$

Para QPSK, el *symbol rate* es la mitad de la tasa de transmisión

$$\text{QPSK } \frac{3}{4} \rightarrow 2048 \text{ Kbps, } \text{symbol rate} = 1365.33 \text{ ksym}$$

2.3.1.8 Determinación del hardware.

a) Antena Offset

En la implementación de enlaces satelitales es común el uso de antenas parabólicas tipo offset que tienen como principal característica la instalación de un *feed* o alimentador no posicionado en el centro del plato, este modelo resulta ser eficiente para comunicaciones satelitales al tener despejada la zona de reflexión (ver anexo E). Se determina el uso de una antena de 2.4m de diámetro para un enlace satelital de banda C, basándose en el estándar IESS-601 (Intelsat Earth Station Standards) que indica el aseguramiento de un PIRE efectivo.

La figura 24 se muestra la densidad máxima permitida de PIRE en función del diámetro de la antena.

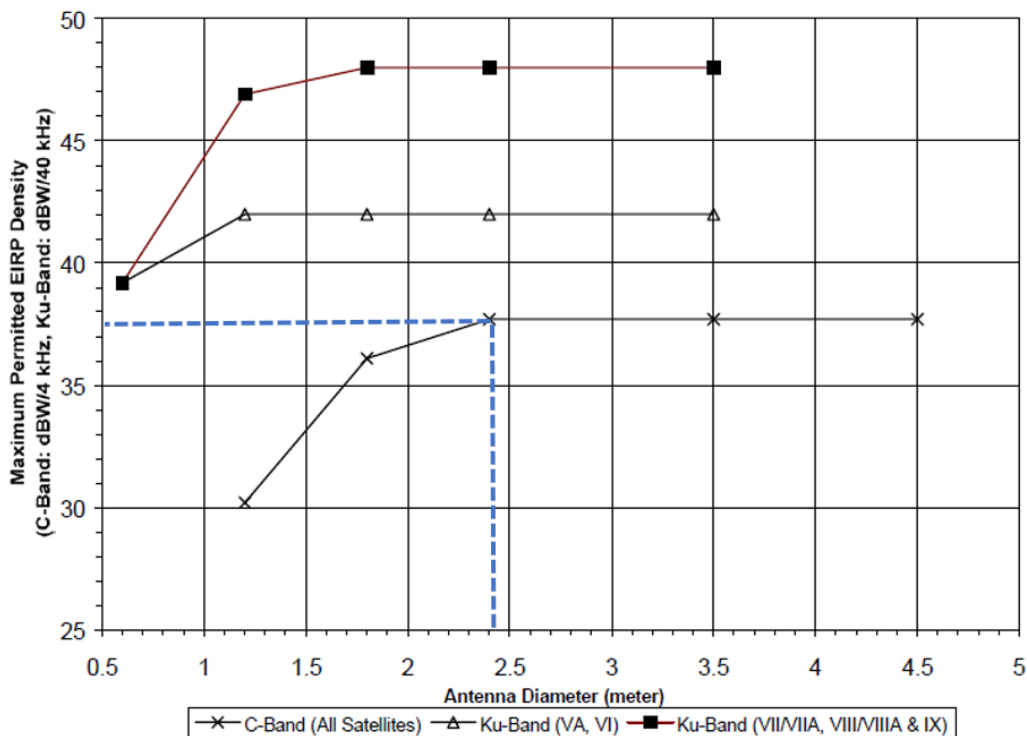


Figura 24. Evaluación de diámetro de antena

Fuente: Intelsat. 2005. Intelsat Earth Station Standards.

b) Verificación de la ganancia de la antena.

La ganancia de una antena es calculada en función del diámetro del plato, longitud de onda y eficiencia que brinde el modelo de la antena. En la figura 25 se muestra la ficha técnica del fabricante de la antena la cual fue diseñada con una ganancia de 42dBi para operatividad en banda C con polarización lineal.

2.4M C & KU-BAND RX/TX SERIES 1251	Electrical	C-Band		
		Linear	Circular	Ku-Band
	Antenna Size	2.4 M (96 in.)	2.4 M (96 in.)	2.4 M (96 in.)
	Operating Frequency	3.625 - 4.2 GHz	3.625 - 4.2 GHz	10.95 - 12.75 GHz
	Receive	5.850 - 6.425 GHz	5.850 - 6.425 GHz	13.75 - 14.5 GHz
	Transmit			
	Midband Gain (±.2dB)	38.0 dBi	38.0 dBi	47.6 dBi
	Receive	42.0 dBi	42.0 dBi	49.2 dBi
	Transmit			
	Antenna Noise Temperature			
	10° elevation	52 K	30 K	42 K
	20° elevation	46 K	23 K	32 K
	30° elevation	45 K	20 K	28 K
	40° elevation	44 K	19 K	27 K
	Sidelobe Envelope, Co-Pol (dBi)			
	100λ / D θ ≤ 20°	29-25 Log θ dBi	29-25 Log θ dBi	29-25 Log θ dBi
	20° < θ ≤ 26.3°	- 3.5 dBi	- 3.5 dBi	- 3.5 dBi
	26.3° < θ ≤ 48°	32-25 Log θ dBi	32-25 Log θ dBi	32-25 Log θ dBi
	θ > 48°	-10 dBi (averaged)	-10 dBi (averaged)	-10 dBi (averaged)
	Cross-Pol Isolation (Linear)	>30 dB on axis	N/A	>30 dB on axis
	Axial Ratio (Circular)			
	Receive	N/A	2.28	N/A
	Transmit	N/A	1.94	N/A
	VSWR	1.3:1 Max.	1.3:1 Max.	1.3:1 Max.
	Feed Interface			
	Receive	CPR 229 F	CPR 229 F	WR 75
	Transmit	CPR 137 or Type N	CPR 137 or Type N	WR 75 or Direct Radio Mounting

Figura 25. Ficha técnica del fabricante de la antena.

Fuente: Prodelin. 2000.

Las antenas offset se fabrican con una eficiencia del 70% al 80%, para calcular la ganancia de la antena instalada en Caballococha se consideró una eficiencia del 70% con frecuencia *uplink* de 6.4Ghz, el cálculo de ganancia se realizó mediante la ecuación 3. La ganancia obtenida fue de 42.59dB y se contrastó con la ficha de datos del fabricante observándose que es idóneo. Se adjunta simulación de la ganancia de la antena cuando opera en banda C (ver anexo O).

$$G=n*\left(\frac{\pi*D}{L}\right)^2 \dots\dots\dots (3)$$

G: Ganancia de potencia, n: eficiencia, D: Diámetro del plato,

L: Longitud de onda, f: 6.409 GHz; n=70%

$$L=\frac{c}{f}=\frac{3*10^8}{6.409*10^9}=0.0468m=4.68cm$$

$$G=n*\left(\frac{\pi*D}{L}\right)^2=0.7*\left(\frac{\pi*2.4}{0.0468}\right)^2=18161.91 \text{ Watts}$$

$$G=10*\log(\text{Potencia})=10*\log(18161.91)=42.59dB$$

c) Determinación del BUC.

El BUC es el dispositivo encargado de la transmisión de data desde la VSAT hacia el transpondedor del satélite IS-14, la potencia del BUC debe garantizar que el *uplink* del enlace trabaje en las potadoras definidas por la red según la relación portadora ruido C/No. La red de IS-14 del proveedor satelital cuenta con nueve portadoras, siendo la portadora más baja de 63.38dBHz y la portadora más alta de 71.97dBHz. Dentro de las especificaciones de capacidad del satélite, se considera 36MHz de capacidad para las portadoras. Se determinó que el enlace debe usar un BUC de 5 Watts de potencia ideal, para hallar la potencia del BUC se consideró la ecuación 4.

$$\text{Potencia de BUC} = 10 \log(\text{BW}) - \text{C/No} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{BW} = 36 \times 10^6 \text{ Hz, C/No} \cong 71 \text{ dBHz}$$

$$\text{Potencia de BUC} = 10 \log(36 \times 10^6) - 71 \text{ dBHz} = 4.56 \text{ Watts}$$

En la figura 26 se muestra los principales parámetros del satélite IS-14 en función del PIRE, ancho de banda y frecuencias.

Intelsat 14 at 315° E

Status: Station Kept

C-band Key Parameters	
Configurable Capacity	48 (in equivalent 36 MHz units)
Polarization	Linear - Horizontal or Vertical Circular - Right Hand or Left Hand
Downlink Frequency	3700 to 4200 MHz
Typical Edge of Coverage e.i.r.p.	Europe/Africa: > 36.3 dBW Americas: > 36.4 dBW
Uplink Frequency	5925 to 6425 MHz
Beam Peak G/T	Europe/Africa: Up to 5.9 dB/K Americas: Up to 2.5 dB/K
Ku-band Key Parameters	
Configurable Capacity	24 (in equivalent 36 MHz units)
Polarization	Linear - Horizontal or Vertical
Downlink Frequency	11.45 to 11.95 GHz
Typical Edge of Coverage e.i.r.p.	Europe/Africa: > 46.0 dB/K Americas: > 43.7 dB/K
Uplink Frequency	14.00 to 14.50 GHz
Beam Peak G/T	Europe/Africa: Up to 9.5 dB/K Americas: Up to 4.9 dB/K

Figura 26. Ficha técnica del satélite Intelsat 14.

Fuente: Operador satelital Intelsat. Recuperado de: www.intelsat.com/fleetmaps/

La red del proveedor satelital según el plan de frecuencia asignado debe operar con una frecuencia de *uplink* del rango de 6.4GHz y con una frecuencia de translación de 4900MHz, el BUC a utilizar debe cumplir con esta característica para operar en la red de IS-14. Para este enlace se asignó el modelo de BUC NJT5669F 5W banda C del fabricante JRC (ver anexo B).


En la figura 27 se presenta las características técnicas del BUC NJT5669F 5W C-Band.

■ C-band **5W** BUC

MODEL No. **NJT5669, NJT5670, NJT5675, & NJT5677** series

< Features >

- * **High Efficiency Output Power**
 - P1dB: +37.0 dBm min. over temperature
- * **Low Power Consumption**
 - Power Consumption: 48 W
- * **Small Size & Light Weight**
 - Weight: 1.9 kg
- * **LED Indicator**
- * **RoHS Compliance**



< Line-up >

Model No.	RF Frequency	Local Frequency	IF Frequency	Output Power @ P1dB	IF Connector	Power Supply	LED Indicator
NJT5669	5.85 to 6.425 GHz (Standard C-band)	4.90 GHz	950 to	5W Linear (+37 dBm min.)	N-type	+24 VDC (+15 to +30 VDC)	Equipped
NJT5669F			1,525 MHz		F-type		
NJT5675N	6.365 to 6.725 GHz (Palapa C-band)	5.30 GHz	1,065 to		N-type		
NJT5675F			1,425 MHz		F-type		
NJT5677N	5.85 to 6.725 GHz (Full C-band)	4.90 GHz	950 to		N-type		
NJT5677F			1,825 MHz		F-type		
NJT5670	6.725 to 7.025 GHz (Insat C-band)	5.76 GHz	965 to		N-type		
NJT5670F			1,265 MHz		F-type		

Figura 27. Ficha técnica de BUC NJT5669F.

Fuente: New Japan Radio Co. 2017.

d) Cálculo de PIRE.

Se define como PIRE a la potencia efectiva irradiada isotrópicamente, equivalente a la potencia de transmisión emitida por la antena al recibir comunicación del modulador y el amplificador de alta frecuencia denominado BUC. El PIRE es expresado en la unidad dBW y el cálculo fue hallado mediante la ecuación 5, donde se determina que el PIRE en la transmisión de la antena es de 23.34dBW.

$$\text{PIRE} = P_{\text{ent}} * A_t \dots\dots\dots(5)$$

PIRE = potencia efectiva irradiada isotrópicamente (Watts)

P_{ent} = potencia de entrada a la antena (Watts)

A_t = ganancia de la antena

$$\text{PIRE} = 10 * \log(42.59\text{dB} * 5\text{Watts})$$

$$\text{PIRE} = 23.28\text{dBW} = 53.28\text{dBm}$$

Para determinar el PIRE a la salida del transmisor se debe consideró la ecuación 6. Considerándose una potencia de 23.28dBW a la entrada de una antena, con pérdida en el amplificador de 5dBm según el *datasheet* del BUC, respecto con pérdida en la ramificación se consideró de 5dB considerando un cable coaxial RG-11 a una distancia de 100 pies con el módem emitiendo una frecuencia de 1250Mhz y con ganancia de 42.59dB en la antena.

$$\text{PIRE} = P_{\text{ent(dBW)}} + A_{t(\text{dB})} \dots\dots\dots(6)$$

$$P_{\text{ent}} = P_t - L_{bo} - L_{bf}$$

$$\text{PIRE} = P_t - L_{bo} - L_{bf} + A_t$$

P_{ent} = potencia de entrada a la antena (dBW)

L_{bo} = pérdidas por reducción HPA (dB)

A_t = ganancia de la antena de transmisión (dB)

P_t = potencia de salida saturada de amplificador (dBW)

$$\text{PIRE} = 23.28\text{dBW} - 5\text{dB} - 5\text{dB} + 42.59\text{dB}$$

$$\text{PIRE} = 54.67\text{dBW}$$

e) Cálculo de latencia.

Los satélites geoestacionarios orbitan a la misma velocidad del planeta con una velocidad tangencial de 11,033 Km/h, los tiempos de respuesta del enlace satelital son calculados considerando la distancia de 35768 Km entre la tierra y la órbita geoestacionaria; en la ecuación 7 se muestra como resultado que el tiempo de respuesta del enlace satelital es de 238ms considerando que la estación terrestre se encuentra debajo del satélite geoestacionario, debido a que la estación remota devuelve la comunicación hacia el satélite se considera el doble de tiempo hallándose así una latencia total de 476ms de manera ideal.

$$t = \frac{d}{C} \dots\dots\dots(7)$$

t = tiempo

d = distancia

C = velocidad de la luz

$$t = \frac{2 \cdot (35768 \text{ km})}{3 \cdot 10^5 \text{ km/s}} = 238 \text{ ms}$$

En la figura 28 se observa que el tiempo de respuesta estimado para el enlace satelital es 479 ms, para calcular la latencia total del servicio de tránsito de internet se adicionan los tiempos de respuesta de las redes terrestres que se interconectan en el HUB considerándose 60 ms adicionales, obteniéndose así una latencia total de 539 ms.

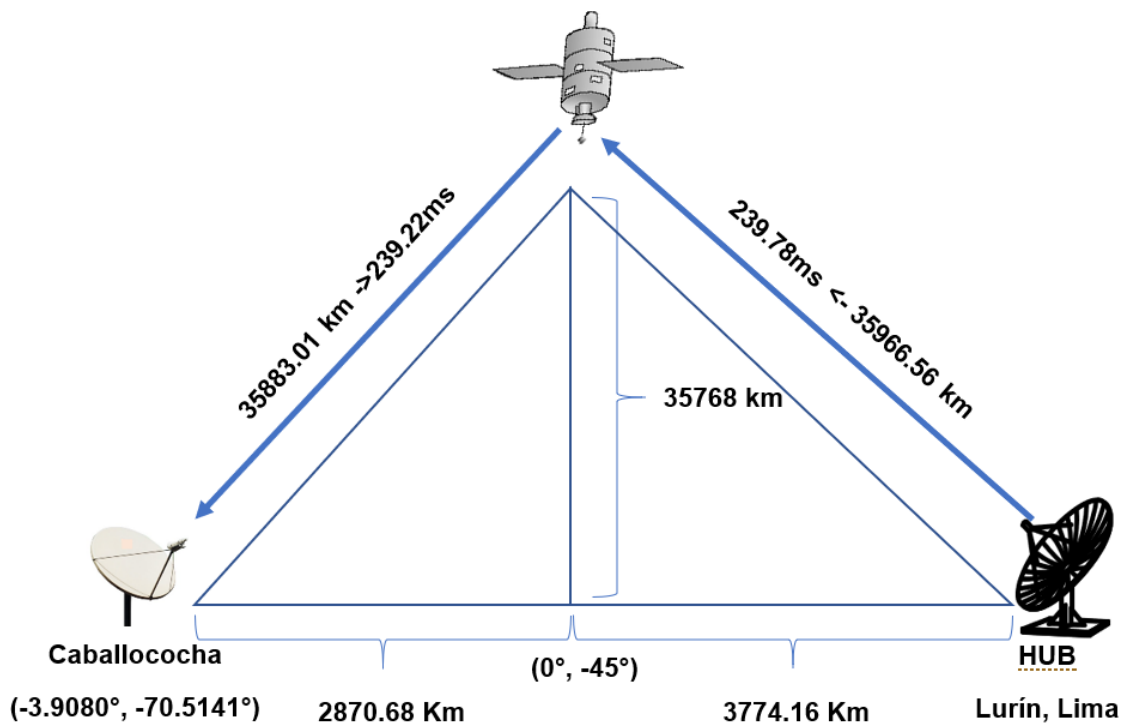


Figura 28. Latencia estimada del enlace satelital.

Fuente: Elaboración propia mediante el software Lucidchart.

f) Asignación de LNB.

El LNB es el dispositivo encargado de la recepción de data enviada por los satélites, realiza la conversión de altas frecuencias hacia frecuencias pequeñas

para luego ser desmoduladas por el módem satelital. En la red de IS-14 del proveedor satelital se tiene configurado la frecuencia de *downlink* en el rango de 4.1 GHz y con frecuencia de traslación 5150 MHz de acuerdo con el plan de transmisión. Para el enlace satelital se asignó el LNB de modelo NJS8486H C-Band PLL del Fabricante JRC (ver anexo C).

En la figura 29 se presenta las características técnicas del LNB NJS8486H C-Band PLL.

NJS8486

● Line-up

Model No.	RF Frequency	Local Frequency	IF Frequency	Local Stability [-40 to +60 °C]	IF Connector
NJS8486E	3.400 to 4.200 GHz (Palapa C-band)	5.15 GHz	950 to 1,750 MHz	Depends on External Reference	F-type
NJS8486EN				N-type	
NJS8486H				+/- 10 ppm (+/- 50kHz typ.)	F-type
NJS8486HN				N-type	
NJS8486S				+/- 3 ppm (+/- 15kHz typ.)	F-type
NJS8486SN				N-type	
NJS8486U				+/- 1 ppm (+/- 5kHz typ.)	F-type
NJS8486UN	N-type				
NJS8487E	3.625 to 4.200 GHz (Standard C-band)	5.15 GHz	950 to 1,525 MHz	Depends on External Reference	F-type
NJS8487EN				N-type	
NJS8487H				+/- 10 ppm (+/- 50kHz typ.)	F-type
NJS8487HN				N-type	
NJS8487S				+/- 3 ppm (+/- 15kHz typ.)	F-type
NJS8487SN				N-type	
NJS8487U				+/- 1 ppm (+/- 5kHz typ.)	F-type
NJS8487UN	N-type				
NJS8488E	4.500 to 4.800 GHz (Insat C-band)	5.76 GHz	960 to 1,260 MHz	Depends on External Reference	F-type
NJS8488EN				N-type	
NJS8488H				+/- 10 ppm (+/- 50kHz typ.)	F-type
NJS8488HN				N-type	
NJS8488S				+/- 3 ppm (+/- 15kHz typ.)	F-type
NJS8488SN				N-type	
NJS8488U				+/- 1 ppm (+/- 5kHz typ.)	F-type
NJS8488UN	N-type				

Figura 29. Ficha técnica de LNB NJS8486H C-Band PLL.

Fuente: New Japan Radio Co. 2018.

2.3.1.9 Configuración del enlace satelital en el NMS.

Posterior al diseño realizado que implicó el direccionamiento de la antena offset hacia el satélite asignado e identificación hardware; el siguiente paso fue llevar estos cálculos hacia el sistema de control de red denominado NMS. El NMS es un conjunto de herramientas desarrollado por el fabricante iDirect que permiten configurar, monitorear y controlar redes satelitales bajo la tecnología de iDirect. Para configurar y controlar los enlaces satelitales se hace uso del NMS de configuración, denominado iBuilder.

En la figura 30 se muestra la información general que tendrá el enlace satelital, en este punto se registra el modelo de módem, el número de serie del módem y las credenciales de acceso.

Remote

Name: OT_Caballococha_20095

Model Type: X1

Serial Number: 20095

Derived ID (DID): 234901119

Inroute Group: LIM_IS14_N1_IG1

User Password: admin

Admin Password: *****

Figura 30. Configuración del módem satelital en el NMS.

Fuente: Elaboración propia mediante el software iBuilder.

En la figura 31 se muestra la configuración de *symbol rate*, modulación y asignación a la red de IS-14. También se presenta el valor máximo de transmisión del enlace satelital, es indispensable configurar adecuadamente el máximo valor de transmisión para evitar la saturación del BUC.

Symbol Rate: 1425 ksym

Chip Rate: 1425 kchip

MODCOD: QPSK3/4

TDMA Initial Power: -27

Spreading Factor: No Spreading

Payload: 170

Lock to Inroute

TDMA Max Power: -22 dBm

1 dB Compression: -20

Receive Properties

Carrier Name: LIM_IS14_N1_A40CH_A40CV_

L-Band: 1014.100 MHz

Fan Out Translation: DEFAULT

Rx Only

Enabled

Rx Only Multicast

Enabled Timeout: 60 seconds

Figura 31. Configuración de modulación del enlace satelital en el NMS.

Fuente: Elaboración propia mediante el software iBuilder.

En la figura 32 se muestra la configuración IP de la red privada virtual demandada por el Operador de Telecomunicaciones.

Information	IP Config	QoS	L2oS	Geo Location	VSAT	Warning Properties	Custom
VLAN							
Id	Name						
	Default						
220	ops-mgmt						
625	lim01-inet						

Interface: ETH0 Interface

IP Address: 10 . 170 . 211 . 49

Subnet Mask: 255 . 255 . 255 . 248

Interface: SAT0 Interface

IP Address: 10 . 200 . 63 . 95

Subnet Mask: 255 . 255 . 255 . 0

IP LAN VLAN 220

IP WAN del módem

Figura 32. Configuración IP de la red privada virtual.

Fuente: Elaboración propia mediante el software iBuilder.

En la figura 33 se muestra la configuración IP Pública asignado al enlace satelital para el servicio de tránsito de Internet.

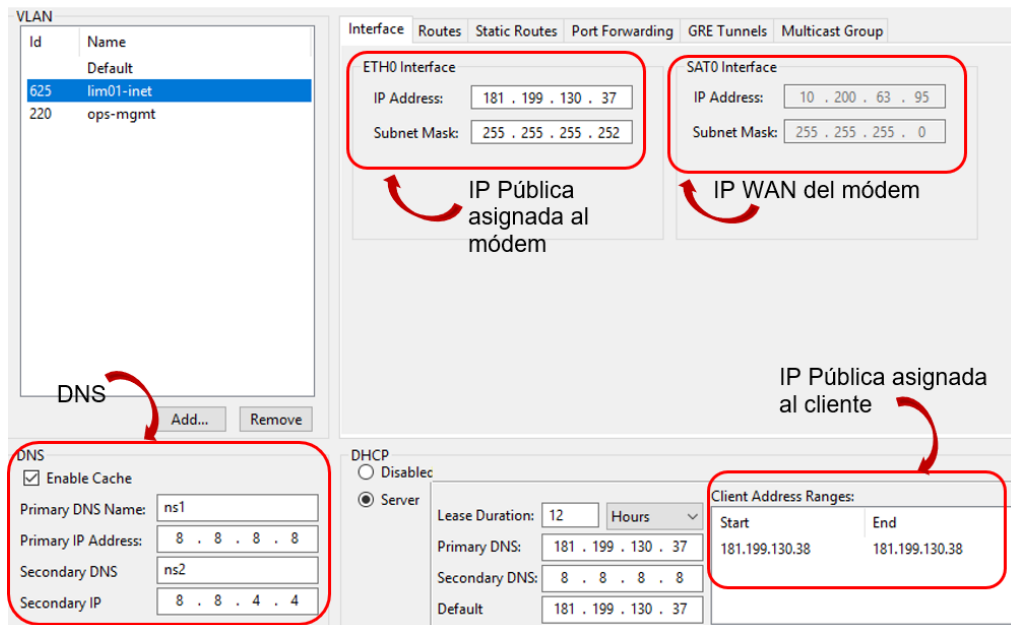


Figura 33. Configuración de IP pública.

Fuente: Elaboración propia mediante el software iBuilder.

En la figura 34 se muestra la configuración del ancho de banda requerido por el Operador de Telecomunicaciones, el CIR contratado y la habilitación de modulación adaptativa para compensar la operatividad frente a factores climáticos adversos.

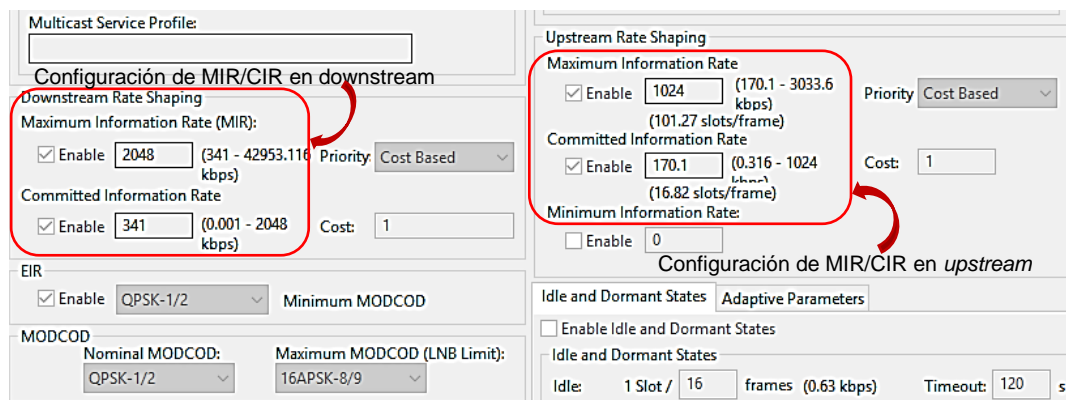


Figura 34. Configuración de MIR y CIR.

Fuente: Elaboración propia mediante el software iBuilder.

En la figura 35 se muestra la configuración de las coordenadas del enlace satelital, las coordenadas ingresadas corresponden a la ubicación donde se instaló la antena offset; si las coordenadas no fueran precisas el enlace satelital

demandaría más potencia para operar, podría causar interferencias e incluso no se podría enlazar la estación remota.

Stationary:

Latitude: South 3.908 decimal degrees

3 degrees 54 minutes 28.8 seconds

Longitude: West 70.51414 decimal degrees

70 degrees 30 minutes 50.904 seconds

Figura 35. Configuración de coordenadas.

Fuente: Elaboración propia mediante el software iBuilder.

En la figura 36 se muestra la configuración de los dispositivos de transmisión y recepción determinados para el enlace satelital de Caballococha.

Remote Antenna

IFL: None

BUC: NJT5669F 5W C-BAND

Reflector Mount: None

Reflector: None

LNB: NJS8486H C-Band PLL LNB

Frecuencias de operatividad

BUC

Manufacturer: **NJK/Analog**

Manufacturer Part: **NJT5669F 5W C-BAND**

iDIRECT Part Number:

BUC Type: 5W C-band

Start Frequency: 5850 MHz

Stop Frequency: 6425 MHz

Gain: 61 dB

Power: 0 dBm

Frequency Translation: 4900 MHz

LNB

Manufacture: **NJK/Analog**

Manufacturer Part: **NJS8486H C-Band PLL LNB**

iDIRECT Part: TPE0000326-0001

Start Frequency: 3400 MHz

Stop Frequency: 4200 MHz

Gain: 59 dB

Noise Figure: 0.43 dB

Stability: 0.042 +/- MHz

Frequency Translation: 5150 MHz

Figura 36. Configuración de BUC y LNB.

Fuente: Elaboración propia mediante el software iBuilder.

En la figura 37 se muestra un fragmento del archivo de configuración del enlace satelital el cual es exportado del NMS y que fue configurado en el módem satelital iDirect modelo X1 (ver anexo D).

```

RmtRmtrsideLatest-20095.opt - Notepad
File Edit Format View Help

[ETH0_220]
address = 10.170.211.49
netmask = 255.255.255.248
rip_enabled = 0
web_server_enabled = 0

[FREQ_TRANS]
down_translation = 5150.000000
up_translation = 4900.000000

[GUI_SERVER_PROXY]
port = 14599

[L2OAM]
bfd_passthru = 1

[LAN]
lan_gw_ip = 0.0.0.0
lan_ip = 192.168.51.1
lan_subnet_ip = 255.255.255.0

[MODEM_INSTALLATION]
reflector_offset_angle = 0.000000
remote_lat = -3.908000
remote_long = 289.485860
spacecraft_long = -45.000000

[MODEM_PARAMETERS]
ref_carrier_fec_block_size = 170
ref_carrier_modcod_coding_rate = 2
ref_carrier_modcod_modulation = 1
ref_carrier_symbol_rate = 1425000.000000
  
```

Figura 37. Archivo de configuración del módem satelital.
Fuente: Elaboración propia mediante el software iBuilder.

El archivo de configuración del módem satelital contiene los parámetros de operación del enlace satelital y también parámetros específicos de la red satelital, es de relevancia que el área técnica pueda identificar desde el archivo de configuración los parámetros principales de red, de tal modo pueda detectar errores en caso el archivo se encuentre mal creado.

La frecuencia intermedia a la salida del módem x1 se transmite hacia el BUC y luego este dispositivo con la frecuencia intermedia recibida del módem la transforma en una frecuencia más alta de *uplink* en banda C, como podemos observar en la ecuación 5.

Transmisión RF - Frecuencia de Translación = Transmisión IF(5)

6.4 GHz - 5.15 GHz = Frecuencia de salida del módem

Frecuencia de salida del módem = 1250 MHz

En la figura 38 se presenta el diagrama de conexiones del enlace satelital que se instaló en Caballococha y la frecuencia *uplink*.

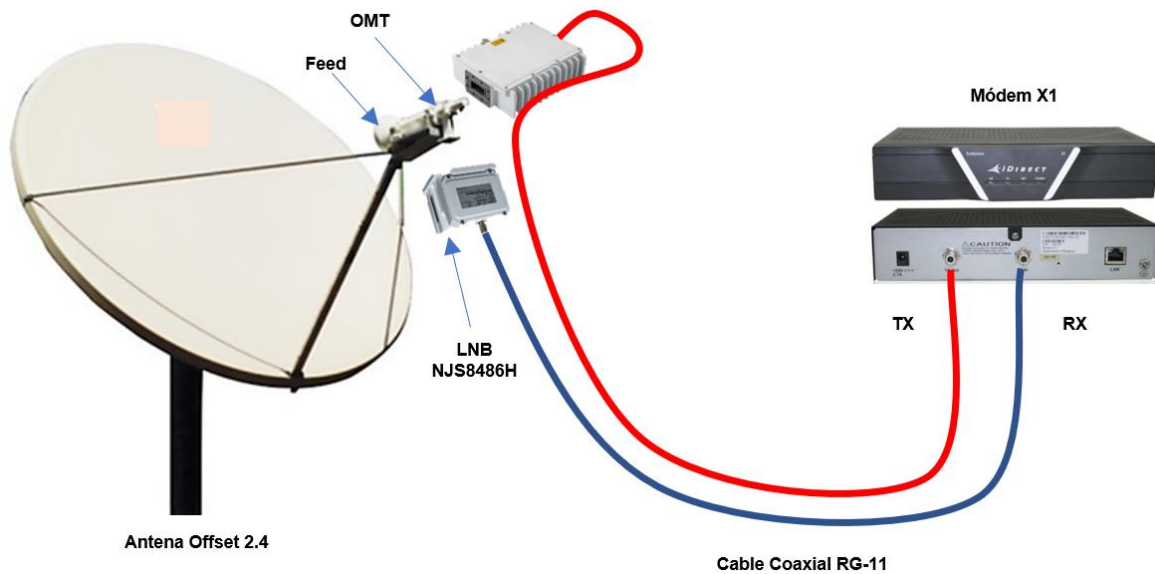


Figura 38. Diagrama de conexiones de hardware.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2 Verificación de la certificación del satelital.

En la certificación del enlace satelital se verifica la señal transmitida desde la antena offset hacia el transponder A40C del satélite IS-14 usando una portadora no modulada, durante el proceso de certificación el enlace debe cumplir con los estándares de calidad demandados en función de lograr buena operatividad del enlace en la red TDMA y evitar interferencias con satélites adyacentes que perjudiquen el performance de este enlace e incluso con otros enlaces encontrados en la misma red. Durante la certificación se realizaron las siguientes verificaciones:

- Errores en la transmisión.
- Errores en la recepción.
- Verificación de ruido de fase.
- Test xpol y punto de compresión.

Las verificaciones de errores en la transmisión y recepción fueron realizadas por el ingeniero NOC desde el NMS, el software en mención monitorea el performance de los enlaces remotos y la antena maestra del HUB. En esta etapa se revisó el registro de errores de transmisión, no se registraron alarmas pero si el enlace hubiese registrado alarmas de “CRC Tx” sería un indicador que hay un factor que causa la alteración en la transmisión de datos y se debería revisar la línea de transmisión, es decir conectores del cable coaxial, el cable coaxial, BUC, punto de saturación del BUC y hasta verificar si hay sistemas de trasmisión de radiofrecuencias que operen en la misma banda y se encuentren cercanas a la estación satelital.

En la figura 39 se muestra la verificación de alarmas de errores en la transmisión. No se detectaron errores.

Type-SN	Type	Network	Event ...	Event Description
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1957), FO(-2499), PO(+0.0) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1957), FO(-2499), PO(-0.5) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1953), FO(-2502), PO(+0.0) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1953), FO(-2502), PO(+0.5) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1950), FO(-2496), PO(+0.0) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1949), FO(-2514), PO(+0.0) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1938), FO(-2407), PO(+0.0) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1936), FO(-2279), PO(+0.0) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1929), FO(-2473), PO(+0.0) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1920), FO(-2492), PO(+0.0) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1921), FO(-2502), PO(+0.0) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1921), FO(-2489), PO(+0.0) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1912), FO(-2480), PO(+0.0) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1917), FO(-2519), PO(+0.0) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1916), FO(-2524), PO(+0.0) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1905), FO(-2534), PO(+0.0) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1904), FO(-2543), PO(+0.0) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1890), FO(-2529), PO(+0.0) NID(16)
Caballococha... X1.2009...	Remote	LIM_JS14_N1_IDRCT_A40CH_A4...	Info	UCPI: TO(-1893), FO(-2528), PO(+0.0) NID(16)

ID	Mo...	SN	DID	No...	Network	Time	Msg Type	Severity	Details
No se registraron alarmas o errores									

Figura 39. Verificación de alarmas en transmisión.

Fuente: Elaboración propia mediante el software iBuilder.

En relación con la verificación de errores en la recepción, se verificó en la pestaña de performance que no se registren errores “CRC 8” y “CRC 32”, relacionados a problemas en la recepción de las frecuencias recibidas desde el satélite, en caso se registren este tipo de alarmas se debe realizar la verificación de la cadena de recepción, es decir conectores, cable coaxial y LNB.

En la figura 40 se demuestra que durante el procedimiento de certificación no se detectaron alarmas de errores en la recepción.

Seri...	FO Off...	Fast Fa...	CRC8 Error	CRC32 Error
X1.2009...	0	1	0	0
X1.2009...	0	1	0	0
X1.2009...	0	1	0	0
X1.2009...	0	1	0	0
X1.2009...	0	1	0	0
X1.2009...	0	1	0	0
X1.2009...	0	1	0	0
X1.2009...	0	1	0	0
X1.2009...	0	1	0	0
X1.2009...	0	1	0	0
X1.2009...	0	1	0	0
X1.2009...	0	1	0	0
X1.2009...	0	1	0	0
X1.2009...	0	1	0	0
X1.2009...	0	1	0	0

Figura 40. Verificación de alarmas en la recepción.

Fuente: Elaboración propia mediante el software iBuilder.

El procedimiento de verificar el ruido de fase se realiza con la revisión de la señal transmitida desde la ubicación remota mediante un analizador de espectro electromagnético el cual es verificado por el SAC. La señal que se graficó en el analizador fue lineal, sin distorsiones. Si una señal presenta ruido de fase debe verificarse la línea de trasmisión hasta mitigar el ruido de fase, este tipo de verificación es determinante para evaluar si el BUC está fallando y en caso no logre desaparecer el ruido de fase registrado, la instalación no debe continuar.

La prueba xpol o test de polarización cruzada tuvo como objetivo evaluar la correcta polarización del enlace satelital, este parámetro es medido a través del nivel de aislamiento que es equivalente a la diferencia entre la polarización vertical y la polarización horizontal para un enlace satelital, este parámetro es calculado en decibelios (dB). El aislamiento de las polarizaciones lineales permite optimizar la red ya que los sistemas satelitales implementan el reuso de frecuencias, por ejemplo, un satélite reusa una misma frecuencia para distintos transpondedores por eso es indispensable que el enlace opere con el nivel de aislamiento adecuado.

Cada operador satelital maneja un estándar de nivel de aislamiento según el tamaño de la antena, tipo de banda y ubicación; para el operador satelital Intelsat gestor del satélite IS-14, un enlace de banda C con una antena de 2.4m debe alcanzar como mínimo un aislamiento de 28dB, mientras que para una antena de 1.8m debe alcanzar un mínimo de 26dB.

La prueba de compresión a 1dBm tiene como finalidad en medir el máximo punto de potencia que debe asignarse al BUC para evitar la sobrecarga y distorsión de la señal emitida por el BUC, las mediciones se realizaron entre el ingeniero NOC y el operador del SAC de Intelsat. La prueba inició con la transmisión de una portadora no modulada desde el módem con una frecuencia de prueba que el operador SAC autorizó transmitir, la potencia inicial fue de -25dBm y el operador SAC solicitó realizar incrementos guiados de 1dBm en la transmisión hasta que el analizador de espectros dejó de registrar los incrementos de potencia aplicados, identificándose así la máxima potencia a utilizar, sin embargo se configuró el enlace con una potencia máxima de 2dBm menos de la potencia a la calculada durante el test de compresión como se sugiere de manera práctica por la ITU en el manual de comunicaciones satelitales para redes TDMA.

2.3.2.1 Ejecución de pruebas de laboratorio.

Las pruebas de laboratorio se realizaron en el HUB del proveedor de Internet satelital con el fin de corroborar el funcionamiento del enlace diseñado, es importante la validación de la configuración y operatividad del hardware previa a la ejecución de la instalación, generalmente los enlaces satelitales son instalados en lugares alejados de zonas urbanas, por ende de difícil acceso y donde otras tecnologías no han sido posible de implementarse, transportar hardware averiado hacia una zona de difícil acceso es contraproducente desde el punto de vista económico y de impacto con los acuerdos de los niveles de servicio pactados, la reputación de una empresa de telecomunicaciones se vería afectada.

El proceso inicia con el ensamblaje del hardware asignado en la antena offset de 2.4m direccionada hacia el satélite IS-14, el procedimiento es llevado a cabo por el área técnica en coordinación con el ingeniero NOC.

En la figura 41 se presenta el diagrama de los procedimientos y actividades durante las pruebas de laboratorio e instalación.

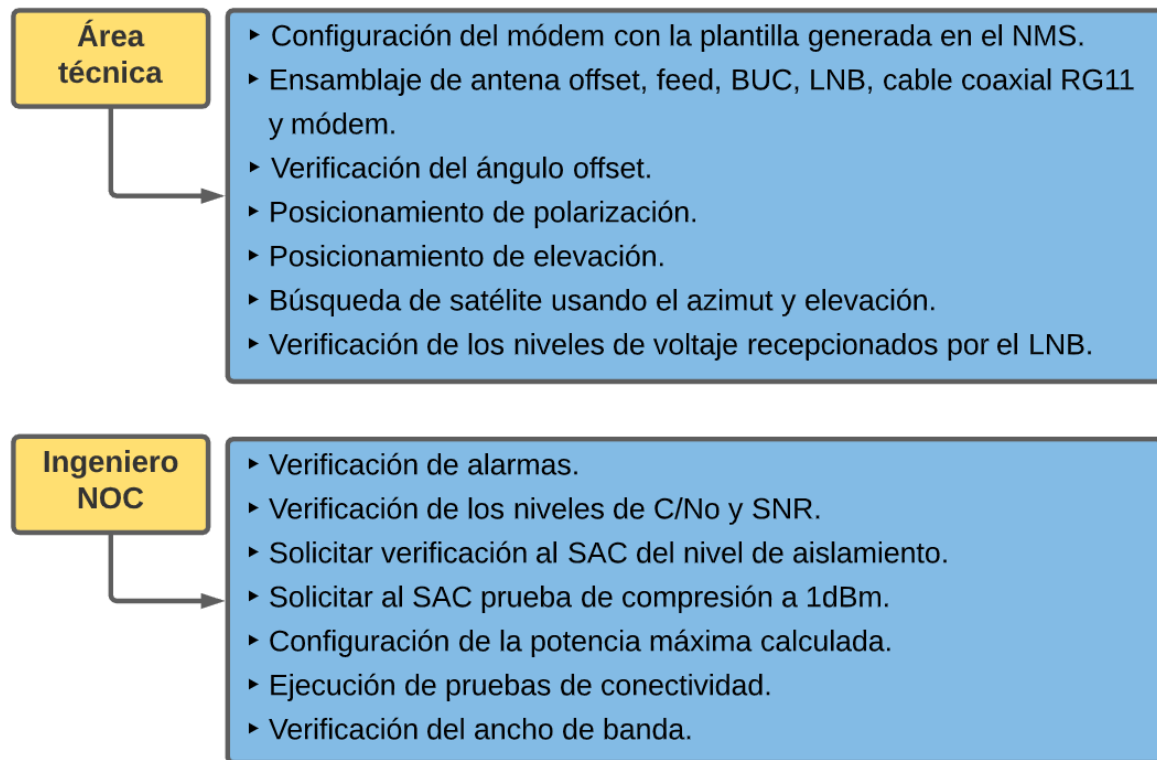


Figura 41. Procedimientos de pruebas de laboratorio.

Fuente: Elaboración propia.

Posterior al ensamblado de los equipos *outdoor*, el técnico de campo procede a cargar el archivo de configuración en el módem satelital para el inicio de las verificaciones, mientras que por parte del ingeniero NOC debe actualizar las coordenadas desde el NMS del telepuerto donde se realizan las pruebas laboratorio, en las pruebas de laboratorio se busca que la antena logre certificarse mediante las pruebas de xpol y compresión a 1dBm. Adicional a lo expuesto se realiza verificación del MIR y de alarmas para detectar algún problema en el BUC, LNB o módem; para una mejor validación de errores el equipamiento se dejará funcionando durante un par de horas, en efecto el ingeniero NOC revisará el histórico de eventos y alarmas a fin de determinar si se produzco alguna alarma significativa para invalidar el hardware. Durante las verificaciones realizadas en el telepuerto se determinó que el hardware testado se encontraba en óptimo estado para ser comisionado.

En la figura 42 se muestra el armado de la antena y ensamblado del hardware en el patio del telepuerto.

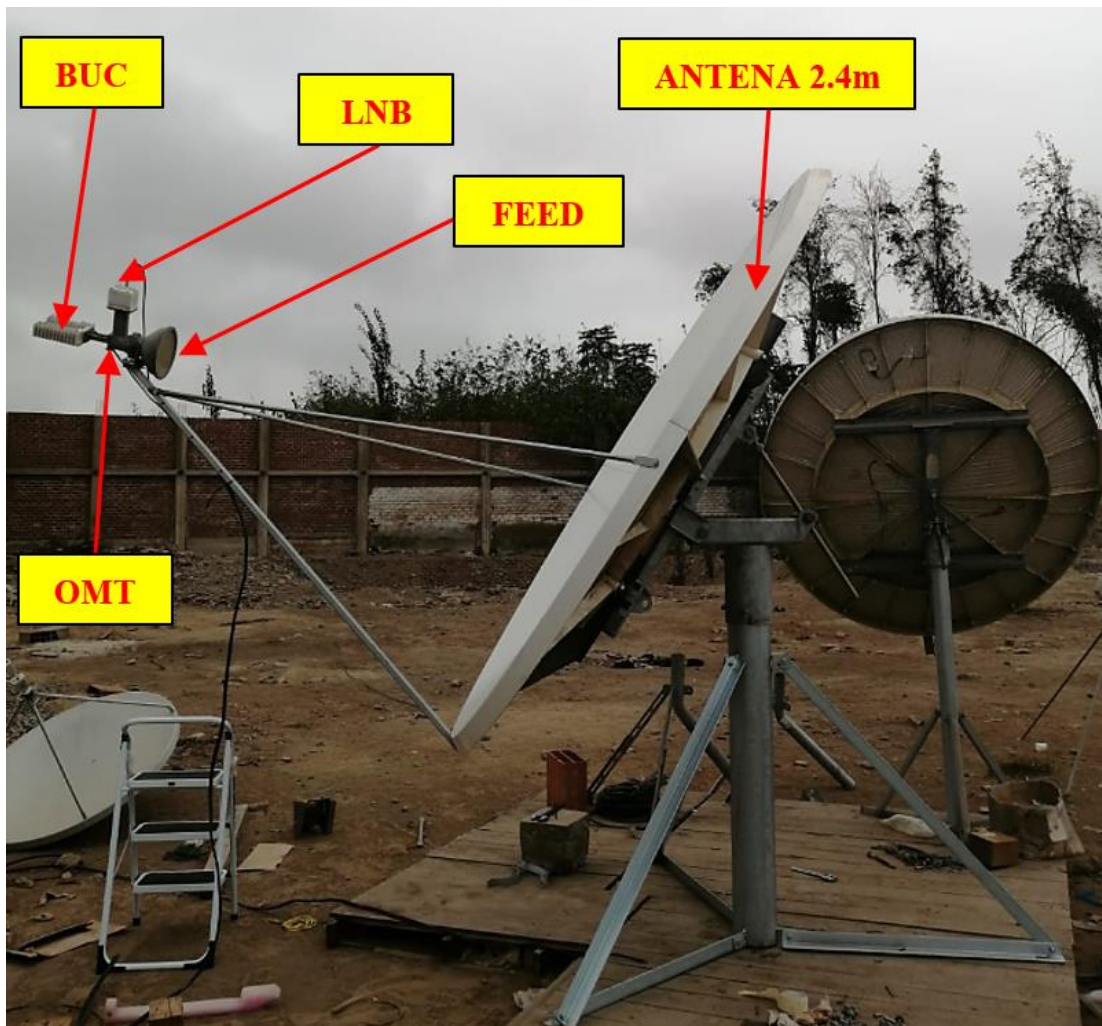


Figura 42. Pruebas de hardware en telepuerto.

Fuente: Elaboración propia.

a) Resultados de la prueba de laboratorio

Respecto a la validación del ancho de banda, se saturó el enlace satelital con un tráfico superior al solicitado para verificar si la potencia del BUC y la disponibilidad de red cumplen con lo demando o en caso el Operador de Telecomunicaciones decida arrendar más capacidad sobre el mismo enlace en un futuro. Las pruebas de saturación se realizaron enviando tráfico UDP con capacidad de 4096Kbits/s en *downstream* y 2048Kbits/s en *upstream*, configurando el CIR temporalmente al valor de la cantidad de tráfico UDP enviado sin variar la modulación del enlace.

En la figura 43 se muestra la prueba de saturación de tráfico UDP realizado durante las pruebas de laboratorio, registrándose 4096Kbits/s en *downstream* y 2048Kbits/s en *upstream*.

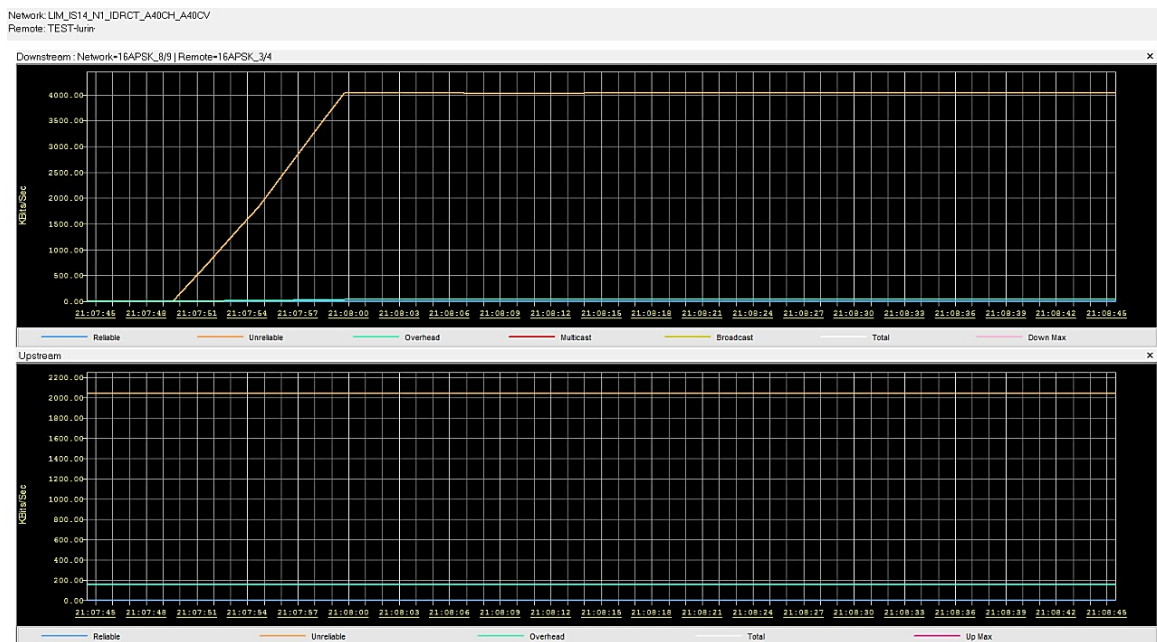


Figura 43. Saturación del enlace satelital en pruebas de laboratorio

Fuente: Elaboración propia mediante el software iMonitor.

2.3.2.2 Verificación del proceso de certificación satelital.

El proceso de verificación satelital durante la implementación en la ubicación asignada por Operador de Telecomunicaciones fue realizado mediante los procedimientos descritos en la figura 42.

a) Verificación de alarmas.

Respecto a la verificación de alarmas se consideran principalmente las alarmas que consignan problemas de transmisión (CRC TX) y recepción (CRC32) los cuales fueron descritos en las figuras 40 y 41 respectivamente. Para los enlaces recién instalados no es admisible que se registren este tipo de alarmas, en caso surjan debe revisarse principalmente las conexiones de cableado coaxial, tanto en la línea de transmisión como en la línea de recepción; de manera experimental se ha identificado que conectores prensados inadecuadamente sin respetar las medidas del blindaje trenzado, blindaje interno o con el dieléctrico dañado; así como el conductor central demasiado largo o demasiado pequeño puede ser

causante de alarmas de recepción y transmisión. Otro factor a tomarse en cuenta es de la condición del cableado coaxial, no debe presentar ningún tipo de daño que genere pérdida de señal, mientras la frecuencia es más grande tendrá un mayor registro de pérdida de señal, la pérdida de señal es en proporción a la distancia y a la determinada por el fabricante, una forma de identificar la cantidad de pérdida registrada en el cableado es medir el voltaje de la salida del módem comparándolo con la cantidad de voltaje de entrada del BUC o en viceversa medir el voltaje que recibe el LNB comparándolo con el voltaje que finalmente recibe el módem en el puerto de recepción. Posterior a la revisión de los conectores y cableado, en caso siga presentando alarmas, se debe optar por realizar el cambio del hardware por otro de back up para realizar descartes hasta lograr a identificar la causa real de las alarmas registradas.

Adicionalmente, hay un gran número de alarmas que podrían impactar en el performance del enlace satelital, por ejemplo, la alarma Fil DAC es una alarma asociada a un problema en el oscilador de frecuencias del módem, en efecto el módem debe ser cambiado si registrase ese tipo de alarma.

b) Verificación del nivel de SNR.

El SNR (Signal Noise Ratio) representa la cantidad de recepción de señal de los enlaces satelitales, este nivel de recepción va en función del apuntamiento alcanzado por el técnico de campo al realizar la instalación de la VSAT; este valor representa un factor determinante del enlace frente a factores climáticos adversos u obstrucciones parciales de línea de vista debido a que a un determinado umbral del nivel de SNR el enlace satelital remoto sale fuera de red, es decir mientras el valor de SNR sea mayor tendrá mejor nivel de recepción y rendimiento. Respecto a cómo medir los niveles de SNR, es representado en decibelios y es medido tanto por el técnico de campo o desde el NMS, según la técnica usada por el técnico de campo puede hallarse en niveles de dB por medio del software desarrollado por el fabricante del módem o por niveles de voltaje a través de un multímetro.

En la tabla 5 se sintetiza los valores de voltaje que debe registrar el enlace satelital durante el procedimiento de apuntamiento de la antena para redes de tecnología iDirect TDMA.

Tabla 5. Niveles de voltaje referenciales para enlazar una estación satelital.

Descripción	Nivel de voltaje (V)
No se detecta ninguna señal.	0-2 V
Se registra una señal pero no suficiente para que el sistema satelital se enlace con la red.	2-12 V
Señal correcta para enlazar la estación remota a la red satelital.	12-24 V

Fuente: GVF 503i iDirect remote terminal installation. SatProf. 2018

En la figura 44 se muestra el promedio de SNR de la red de IS-14.

Name	Down C/N [dB]
IS14-187609	14.40
ENTIN-42745	13.70
D -CBI-71108	13.30
3796-201217	13.30
3784-201122	13.30
3783-201346	13.10
3778-200952	13.10
aynas-54168	13.20
callpa-58608	13.00
3787-201381	13.00
3792-187985	12.60
34128-34128	12.70
m24M-70438	12.20
8371-228371	12.20
3779-200980	11.90
unde-187413	11.90
3785-201050	11.70
3789-201309	11.90
lorte-201099	11.80
3791-201215	11.80
5459-187276	11.30
ervo-201001	11.50
9054-187479	11.20
5756-180353	11.10
5460-187492	11.00
uero-187287	11.00
onga-201266	11.00
uarius-75959	11.00
alia-201416	10.90

Figura 44. Nivel de SNR promedio.

Fuente: Elaboración propia mediante el software iMonitor.

El nivel de SNR varía según la región donde se ubique la estación remota, los niveles de PIRE de los *beam* del satélite IS-14 son variables como se detalla en la figura 14, una forma práctica de validar que el enlace instalado tenga un correcto nivel de SNR es contrastándolo con otros enlaces configurados en la misma red

del proveedor satelital, se debe considerar un valor mayor o igual al promedio de SNR con el resto de las estaciones remotas. En la figura 44 se observa que el máximo nivel en la red es de 14.4dB mientras que el mínimo es de 10.9dB considerando este criterio se determina que un valor idóneo para verificar el SNR debe ser superior a 10.9dB.

Como se detalla en la figura 19, se apuntó la VSAT con un azimut de 81° y elevación de 60°, tras la realización de ajustes en los mecanismos de la antena se alcanzó un nivel de voltaje aceptable para que la estación remota pueda enlazar con el satélite, posteriormente desde el NMS se realizaron las verificaciones de telemetría del enlace.

Durante la puesta en servicio del enlace satelital se obtuvo un nivel de SNR de 13.2dB, en este punto se da por aprobatorio el nivel de recepción. En caso el nivel fuera inferior a 10.9dB sería necesario que el técnico realice mejoras en el nivel de apuntamiento centrando la antena o verificando que los mecanismos de la antena no se encuentren dañados.

En la figura 45 se muestra el nivel de SNR obtenido durante la puesta en servicio del enlace satelital, el nivel promedio de SNR obtenido fue 13.2dB.

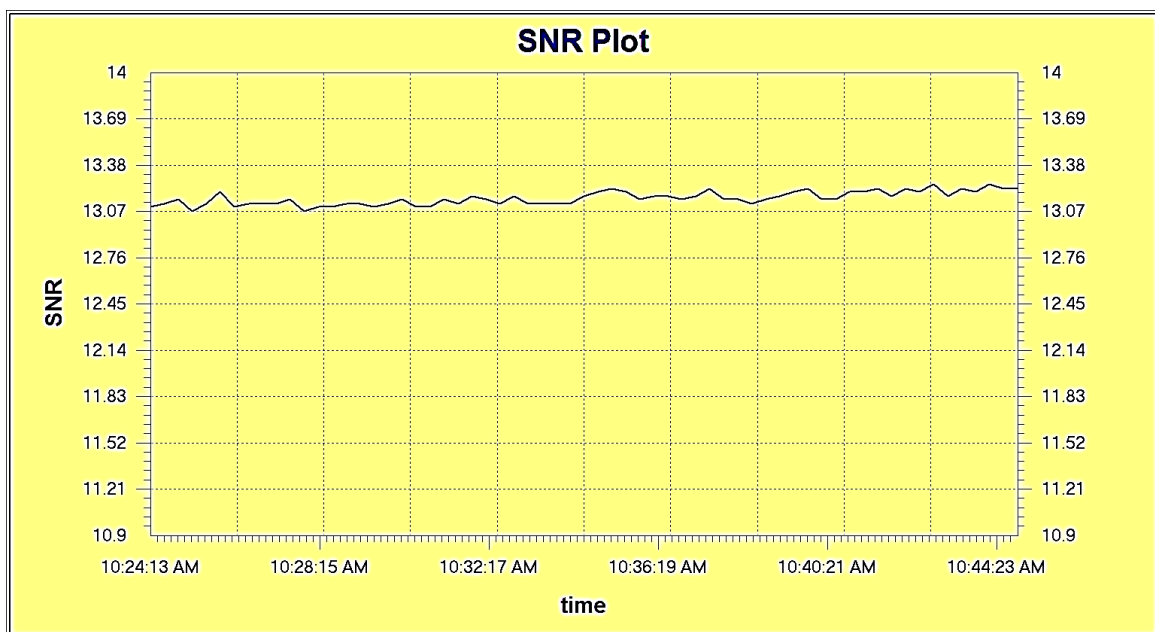


Figura 45. Nivel de SNR obtenido.

Fuente: Elaboración propia mediante el software iMonitor.

En la figura 46 se muestra el nivel de SNR y el performance que tuvo durante una semana de operatividad el enlace en banda C, el máximo nivel de SNR fue 13.63dB y el mínimo nivel fue de 12.15dB sin registrar degradación significativa.

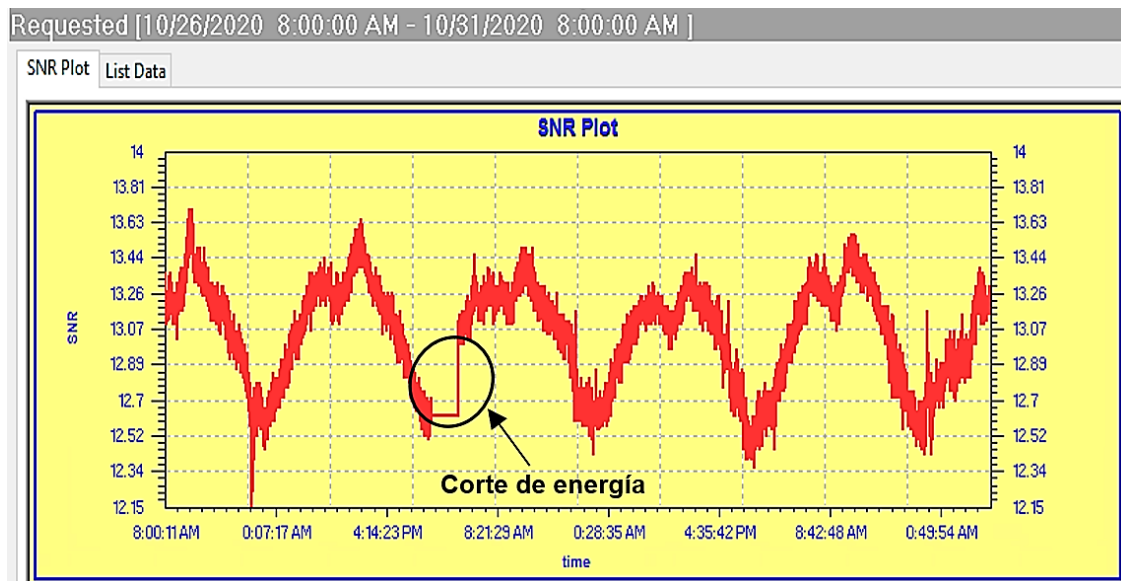


Figura 46. Performance del SNR en banda C en Caballococha.

Fuente: Elaboración propia mediante el software iMonitor.

En la figura 47 se muestra un el nivel de SNR de otro enlace satelital instalado en Caballococha, pero en banda Ku, observándose un performance menor respecto al SNR, el máximo nivel de SNR fue de 14dB y el mínimo nivel fue de 10.62dB, adicionalmente se registró una degradación significativa de SNR que el nivel descendió hasta llegar a 4dB.

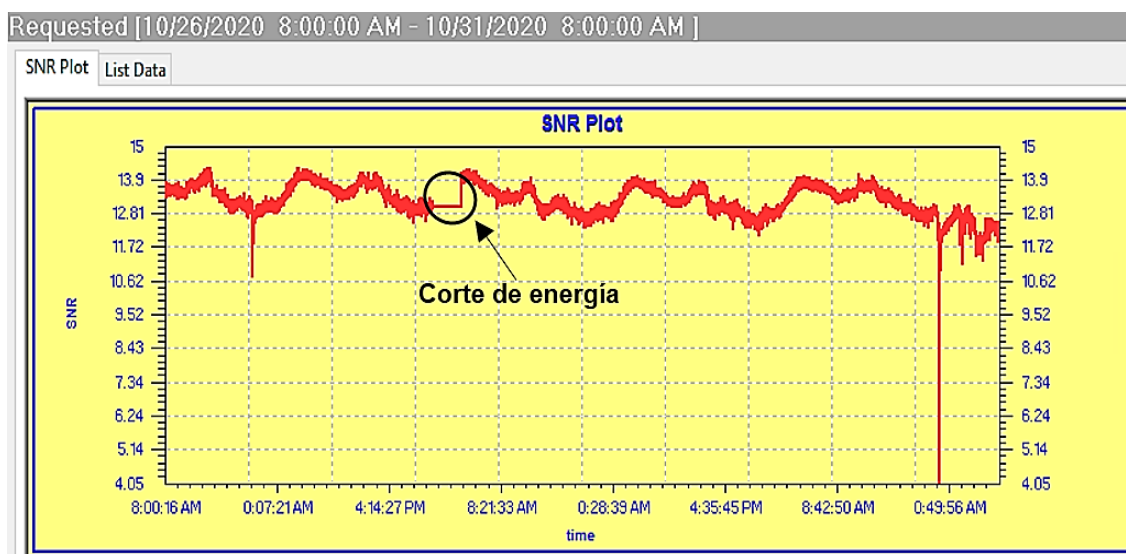


Figura 47. Performance del SNR en banda Ku en Caballococha.

Fuente: Elaboración propia mediante el software iMonitor.

La banda C se caracteriza por la eficiencia de la señal frente a factores climáticos adversos, en la figura 47 se muestra el comportamiento de SNR del enlace satelital instalado en la ciudad de Caballococha por el lapso de una semana, se evidencia que el nivel de recepción no desciende significativamente mientras que el enlace en banda Ku durante el mismo lapso de tiempo llega a descender a 4dB de nivel de SNR afectando la operatividad del servicio.

c) Verificación del nivel de C/No.

El nivel de C/No es determinante para la operatividad del enlace de subida o *uplink*, como se detalla en la figura 23 la modulación y ancho de banda va en función del nivel de C/No alcanzado. Desde el NMS se verifica este parámetro, específicamente para la red de IS-14 el mínimo valor de C/No es de 63.38dB implicando que si la señal transmitida desde la estación remota no alcanza este valor no podrá enlazarse a la red satelital; en total se tienen 9 niveles de C/No configurados con un valor de modulación, frecuencia, *symbol rate* y *bandwidth* específico. El enlace instalado en Caballococha obtuvo un nivel de 70.2dBHz siendo bastante bueno y aprobatorio para la operatividad del enlace considerando que el máximo valor de C/No de la red es de 71.1dBHz (ver anexo L).

En la figura 48 se muestra que el valor promedio de C/No obtenido fue equivalente a 70.2dBHz.

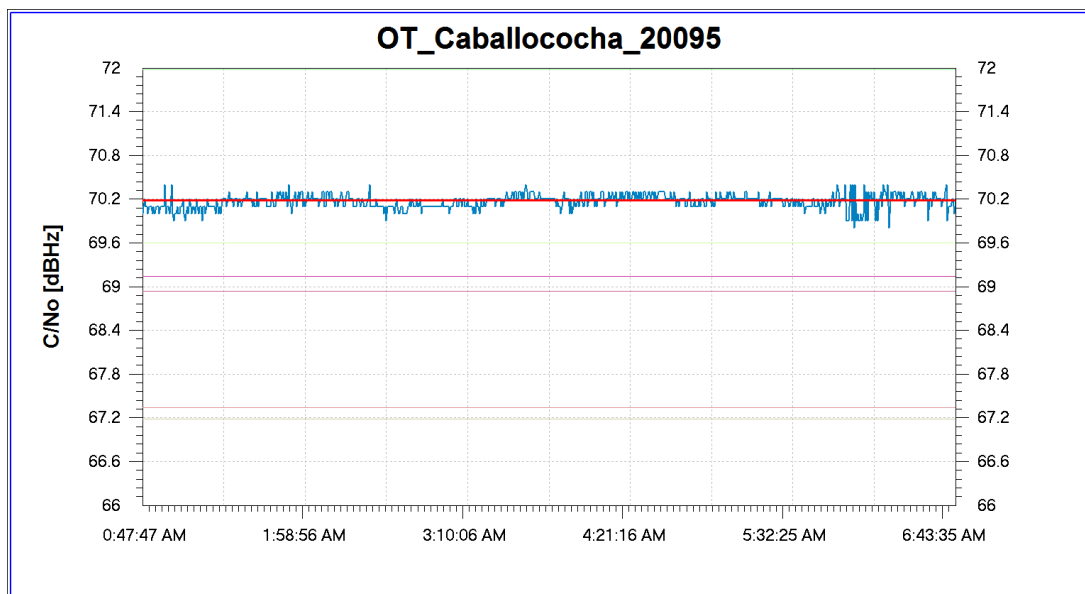


Figura 48. Nivel de C/No del enlace satelital.

Fuente: Elaboración propia mediante el software iMonitor.

En la tecnología TDMA de iDirect como en otras tecnologías satelitales la modulación es adaptativa, es decir la señal de *uplink* podría estar cambiando de portadora según los factores atmosféricos adversos o favorables debido a que los sistemas satelitales tienen configurado protocolos de compensación de potencia (UCP) automática frente a variaciones de la calidad de la señal, por ejemplo frente a un clima de lluvia un enlace satelital podría requerir -12dBm en la potencia de transmisión mientras que frente a un clima despejado el mismo enlace podría requerir -16dBm de potencia en la transmisión, estas variaciones de potencia varían automáticamente según la configuración que se determinó en la prueba de compresión a 1dBm. Las variaciones de potencia también causan cambios en los valores de C/No, mientras más estable se encuentre el valor de C/No será un indicativo de buen performance.

d) Verificación del nivel de aislamiento.

El nivel del aislamiento tiene como finalidad el reúso de frecuencias con el fin de obtener capacidad adicional del ancho de banda, múltiples antenas comparten la misma asignación de frecuencias brindadas por el SAC del operador satelital, las mediciones de aislamiento son calculados en decibeles y representan la distancia entre las polaridades de transmisión y recepción; para el enlace instalado en Caballococha la transmisión es de polaridad vertical mientras que en recepción la polaridad es horizontal, es decir, que están desfasadas ortogonalmente en 90°, la polaridad es determinada por el transponder que se utiliza en la red. Existe otro método de polarización denominado circular que es más eficiente, pero demanda mayores costos de implementación, por lo general es usado en enlaces satelitales marítimos donde las antenas son móviles y deben auto apuntarse hacia el satélite correspondiente constantemente.

La verificación del nivel de aislamiento fue verificado posterior a haber superado las validaciones previas antes mencionadas, el ingeniero NOC contacta al técnico de campo y al SAC solicitando certificar el enlace; el operador SAC brindara una frecuencia de prueba libre y ubicada en el rango de la banda C, el operador NOC desde el NMS ejecuta el comando para transmitir la frecuencia indicada pero sin modulación, el operador SAC mediante un analizador de espectro radioeléctrico digital mide los niveles de aislamiento, el operador SAC tiene las

facultades para determinar si la señal medida presenta interferencias, ruidos de fase, en caso fuese así el técnico de campo debió revisar toda la línea de transmisión hasta superar este factor. Los valores idóneos de aislamiento fueron alcanzados mediante la rotación del BUC sobre el *feed* por parte del técnico de campo hasta obtener el ángulo exacto que determine el nivel de aislamiento requerido; el SAC determina que el mínimo valor de aislamiento requerido para una antena de 2.4m debe ser de 28dB mientras que para una antena de 1.8m el aislamiento mínimo requerido es de 26dB de aislamiento.

En la figura 49 se presenta el ángulo de polarización efectuado sobre el hardware de radiofrecuencia en relación con el feed, primero se posiciono el hardware según lo determinado en la figura 21 y luego se giró aproximadamente en 81° según lo determinado en la figura 19.

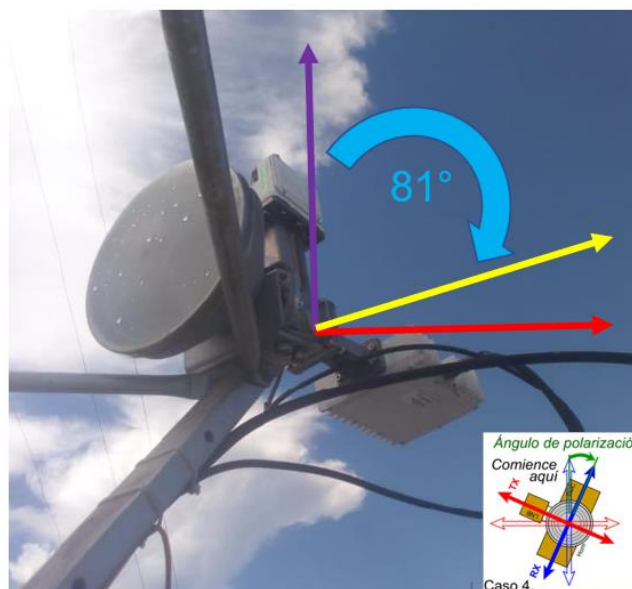


Figura 49. Ángulo de polarización.

Fuente: Elaboración propia.

Durante la prueba de polarización cruzada (xpol) se logró alcanzar un nivel del 28.27dB lográndose la certificación satelital al superar el valor mínimo requerido de 28dB. Según la ubicación del satélite geoestacionario podría requerir medición de inducción de la señal transmitida sobre la señal transmitida por otros satélites adyacentes, para el caso del satélite IS-14 no es necesario realizar este procedimiento de certificación debido a que no tiene satélites adyacentes cercanos que puedan afectarse con la transmisión.

En la figura 50 se muestra que el valor de aislamiento obtenido fue de 28.27dB durante la prueba xpol con una potencia de transmisión de -25dBm desde el modulador.

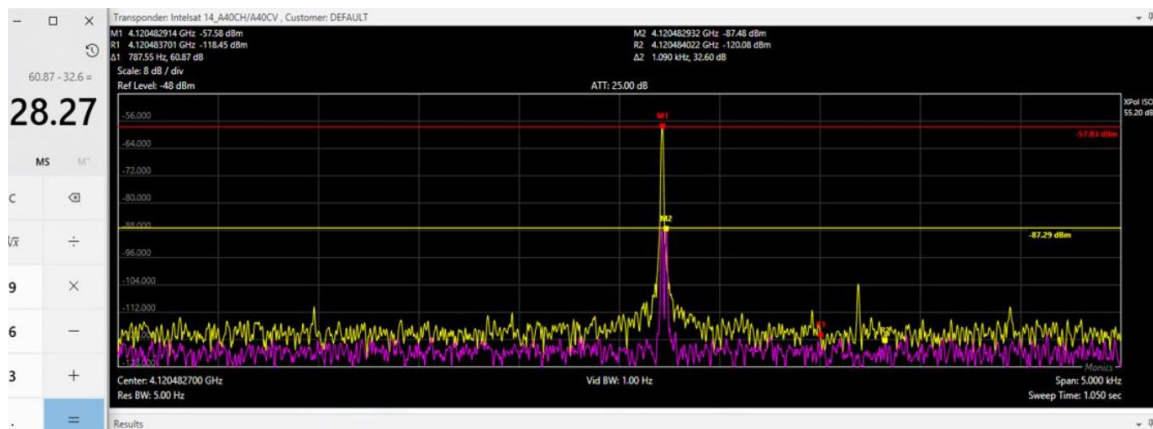


Figura 50. Nivel de aislamiento.

Fuente: Centro de acceso satelital de Intelsat.

e) Prueba de compresión a 1dBm.

La prueba de compresión se realizó posterior a la certificación satelital y como resultado se halló la máxima potencia de transmisión de la estación remota con la finalidad que el BUC no opere en saturación evitando la distorsión de la señal transmitida. Si múltiples antenas estuvieran transmitiendo con niveles que exceden al valor permitido generaría errores CRC Tx, interferencias e intermodulación causando lentitud en el enlace y en la red, afectando el performance e incluso podría producir interrupciones de servicio hasta el punto de desactivar la estación remota para evitar afectación a la red.

El procedimiento de compresión a 1dBm se realizó a cargo del ingeniero NOC y el operador SAC, del mismo modo el ingeniero NOC activará la transmisión de la misma frecuencia no modulada usada en el test de xpol con -25dBm de potencia y el operador SAC solicitará incrementos de potencia de 1dBm en 1dBm mientras tanto el operador SAC validará variaciones en el PIRE, el punto de compresión se determina cuando el nivel de PIRE recibido deja de aumentar en el analizador de espectros. El máximo punto de compresión hallado fue de -20dBm para la estación remota de Caballococha.

En la figura 51 se describen las mediciones obtenidas en las pruebas de compresión a 1dB y xpol.

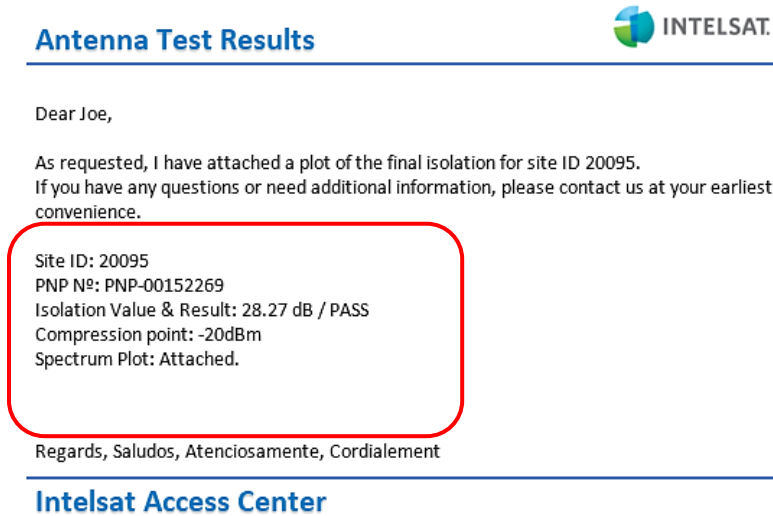


Figura 51. Resultados de la prueba xpol.

Fuente: Centro de acceso satelital de Intelsat.

f) Configuración de potencia máxima calculada.

Las recomendaciones técnicas indican que la potencia de transmisión debe ser configurada con un valor de 2dB menos del punto de compresión para evitar la saturación del amplificador del BUC. Respecto a la mínima potencia configurada se determinó configurando provisionalmente un valor muy bajo de potencia de transmisión y de manera manual se incrementó la potencia hasta que el módem este en red nuevamente. En la figura 52 se detalla la configuración realizada en la transmisión.

Symbol Rate:	1425	ksym
Chip Rate:	1425	kchip
MODCOD:	QPSK3/4	
TDMA Initial Power:	-27	
Spreading Factor:	No Spreading	
Payload:	170	
<input type="checkbox"/> Lock to Inroute		
TDMA Max Power:	-22	dBm
1 dB Compression	-20	

Figura 52. Configuración de la potencia máxima y mínima de transmisión.

Fuente: Elaboración propia mediante el software iBuilder.

2.3.3 Pruebas de conectividad.

Mediante las pruebas de conectividad se revisó la latencia del enlace satelital punto a punto, es decir desde el HUB hacia el satélite y del satélite hacia

al módem satelital se ejecutó el comando ping dirigido hacia las IP asignadas al UPS y al enrutador del Operador de Telecomunicaciones.

En la figura 54 se muestra la prueba de conectividad realizada hacia la IP LAN (10.170.211.50) del enrutador del Operador de Telecomunicaciones, se obtuvo como promedio 589ms de latencia.

```
pe-lima02-pe03#ping vrf ops-mgmt 10.170.211.50 r 100
Type escape sequence to abort.
Sending 100, 100-byte ICMP Echos to 10.170.211.50, timeout is 2 seconds:
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
Success rate is 100 percent (100/100), round-trip min/avg/max = 552/589/716 ms
```

Figura 54. Prueba de conectividad del rúter.

Fuente: Elaboración propia mediante el software Putty.

En la figura 55 se muestra la prueba de conectividad realizada hacia la IP LAN (10.170.211.51) asignada al UPS, para el monitoreo del sistema eléctrico del equipamiento instalado. Se obtuvo como promedio 583ms de latencia.

```
pe-lima02-pe03#ping vrf ops-mgmt 10.170.211.51 r 10
Type escape sequence to abort.
Sending 10, 100-byte ICMP Echos to 10.170.211.51, timeout is 2 seconds:
!!!!!!!!!!!!
Success rate is 100 percent (10/10), round-trip min/avg/max = 540/583/759 ms
```

Figura 55. Prueba de conectividad del UPS.

Fuente: Elaboración propia mediante el software Putty.

En la figura 56 se presenta la verificación de conectividad y acceso vía portal web del UPS ingresando desde un explorador web a la IP 10.170.211.51.

UPS Monitoring » UPS Status	
UPS Status	Battery
UPS Temperature	35.4 °C
Input	
Voltage	0.0 V
Frequency	0.0 Hz
Output	
Load(%)	7
Voltage	220.1 V
Frequency	60.0 Hz
Battery	
Status	Battery Discharging
Capacity(%)	71
Voltage	101.7 V
Time On Battery	00:00:07

Figura 56. Prueba de acceso web al UPS.

Fuente: Interfaz web de ups Kolff.

En relación con el UPS instalado también se verificó el acceso vía portal web y el portal de monitoreo para futuras verificaciones del performance del equipo e incidentes de cortes de energía ante la problemática de fortuitos cortes de energía o variaciones del flujo de energía como es característico en locaciones rurales.

En la figura 57 se presenta la verificación de conectividad desde el portal de monitoreo de enlaces satelitales.

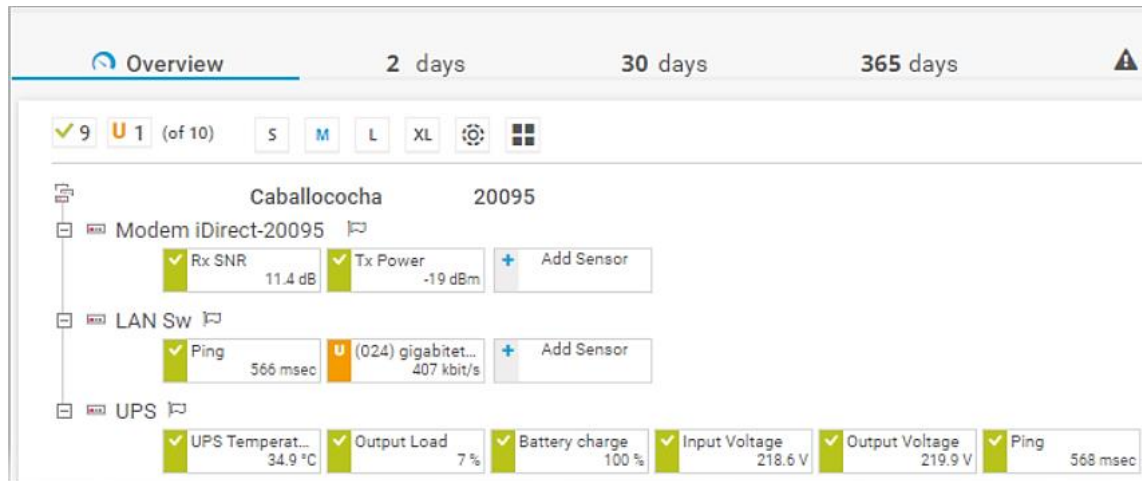


Figura 57. Prueba de acceso web al portal de monitoreo.

Fuente: Interfaz web de software Prtg del proveedor satelital.

a) Topología de red.

La red diseñada para el enlace satelital de Caballococha está encabezada por la configuración del módem satelital a nivel WAN, se asignó una IP de monitoreo máscara 24 para gestión del módem, la configuración de la IP de monitoreo se realizó en la VLAN *default*. Cuando el enlace satelital tiene gestión a nivel WAN desde el NMS se puede realizar cambios de manera remota. Otro aspecto en la configuración WAN es la configuración del enrutamiento de la VLAN 625 que brinda acceso al servicio de tránsito de internet y la VLAN 220 por la cual habilitó acceso la red privada del Operador de Telecomunicaciones, también se habilitó el monitoreo de la red LAN incluyendo el UPS. La conexión entre el módem satelital y el *switch* se realiza con la configuración de la interfaz de los puertos en modo troncal habilitándose así la operatividad de ambas VLAN.

En relación con la VLAN 625 que brinda el acceso a internet, se detalla que la configuración se efectuó mediante una IP pública máscara 30 que da como

máximo 2 IP disponibles para asignar, una es asignada al módem y la otra IP queda asignada al rúter Teldat, en consecuencia el rúter asignará IP privadas para la red LAN del área usuaria. Respecto con la VLAN 220 habilita un túnel entre la red LAN instalada en Caballococha, adicionalmente se utiliza el protocolo BGP entre el rúter remoto con el rúter del Operador de Telecomunicaciones que se conecta físicamente en el HUB del proveedor satelital, por otro lado el Operador de Telecomunicaciones mediante su red MPLS se conecta a la central de la institución de control migratorio.

En la figura 58 se describe la topología y direccionamiento de red WAN y LAN del enlace satelital.

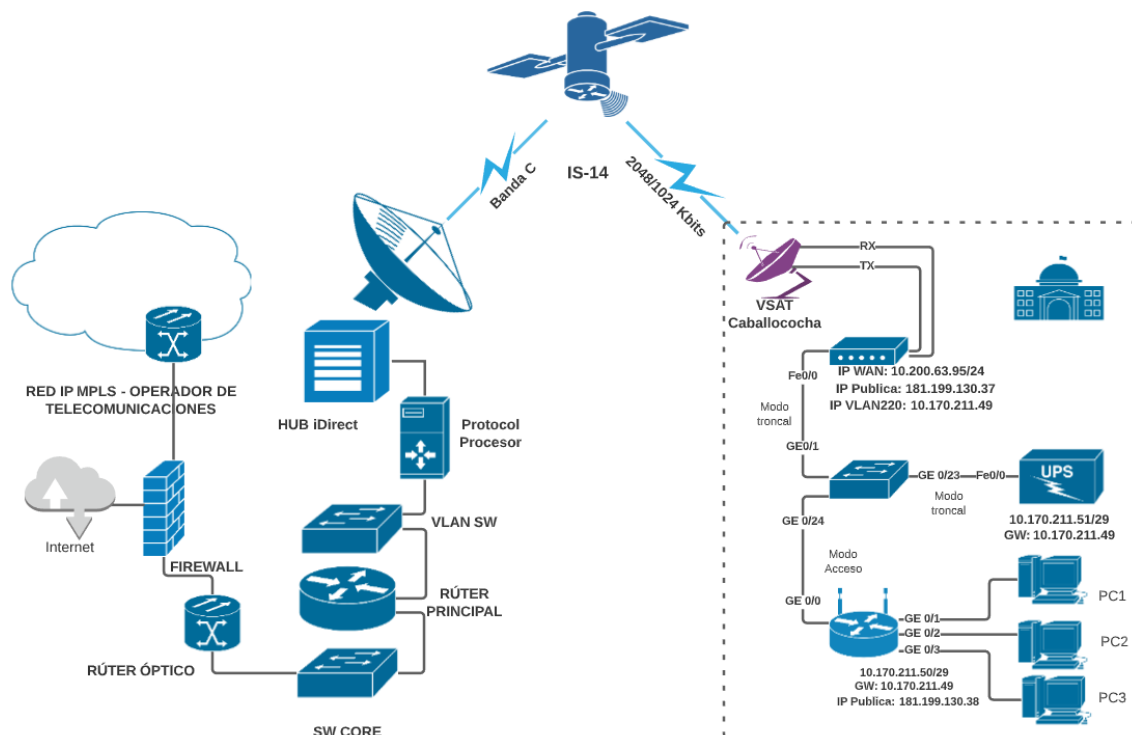


Figura 58. Topología de red.

Fuente: Elaboración propia mediante el software Lucidchart.

La comunicación entre el *switch* y el UPS están conexiónados con las interfaces en modo troncal y al UPS se configuró de manera local la IP 10.170.211.51 con máscara 29 habilitando el monitoreo del equipo como se detalla en las figuras 55 y 56. Mediante el monitoreo del UPS se puede revisar el historial de parámetros como temperatura, voltaje de entrada, voltaje de salida, estado de la batería y autonomía de la batería; considerando que el enlace satelital está

instalado en una zona rural, en efecto, presenta múltiples caídas de tensión y flujo eléctrico intermitente. Adicionalmente, se adjunta información técnica del UPS (ver anexo H), también la topología IP iDirect del HUB (ver anexo G).

b) Verificación de ancho de banda.

La verificación del ancho de banda disponible del enlace satelital se realizó mediante la saturación del canal satelital desde un ordenador conectado directamente al puerto LAN del módem satelital debido a que es difícil saturar con tráfico descargado archivos o enviando archivos desde un solo ordenador se utiliza un software generador de tráfico UDP por tanto se utilizó un software llamado Skydata donde se envió 1024Kbits/s representando el MIR arrendado por el Operador de Telecomunicaciones, el tráfico enviado representa el *upstream*, por otro lado, desde el HUB el ingeniero NOC envió 2048Kbits/s representando desde el *downstream*, desde el NMS se verificó la saturación del enlace satelital de este modo se garantiza el cumplimiento del ancho de banda arrendado.

En la figura 59 se muestra la saturación en tráfico del enlace satelital en *downstream* con 2048Kbits/s y en *upstream* con 1024Kbits/s.



Figura 59. Verificación del ancho de banda.

Fuente: Elaboración propia mediante el software iMonitor.

b) Historial de tráfico satelital.

En el monitoreo de los enlaces satelitales es recurrente la verificación de tráfico satelital y el tipo de tráfico satelital donde se identifica la cantidad demanda

mediante el protocolo UDP o TCP. También se verifica que tipo de aplicativo genera el tráfico, este indicativo es verificable desde herramientas web del proveedor satelital que mantiene en monitoreo la IP pública asignada.

Se emitió un reporte de tráfico durante 5 meses comprendidos entre los meses de junio y octubre del 2020 para la verificación del consumo promedio diario, se dividió el tipo de tráfico en *downstream* y *upstream* para una mejor visualización de la capacidad demandada. En el tráfico *downstream* se observa que el 2 de junio y el 20 de setiembre se registraron los máximos registros de tráfico con 1000Kbits/s y 1200kbits/s respectivamente, adicionalmente se observa que el enlace satelital no estuvo operando al borde de la máxima capacidad o bajo saturación y determinando el promedio de 585.90 Kbits/s. En relación con el tráfico *upstream* durante el período comprendido no se observó saturación del canal satelital, adicionalmente se observan los máximos registros de tráfico *upstream* el 12 de julio y el 31 de octubre con 600Kbits/s y 765Kbits respectivamente, siendo el promedio de tráfico 454.20Kbits/s del período indicado.

En la figura 60 se presenta un reporte de tráfico *downstream* del enlace satelital instalado en la ciudad de Caballacocho.

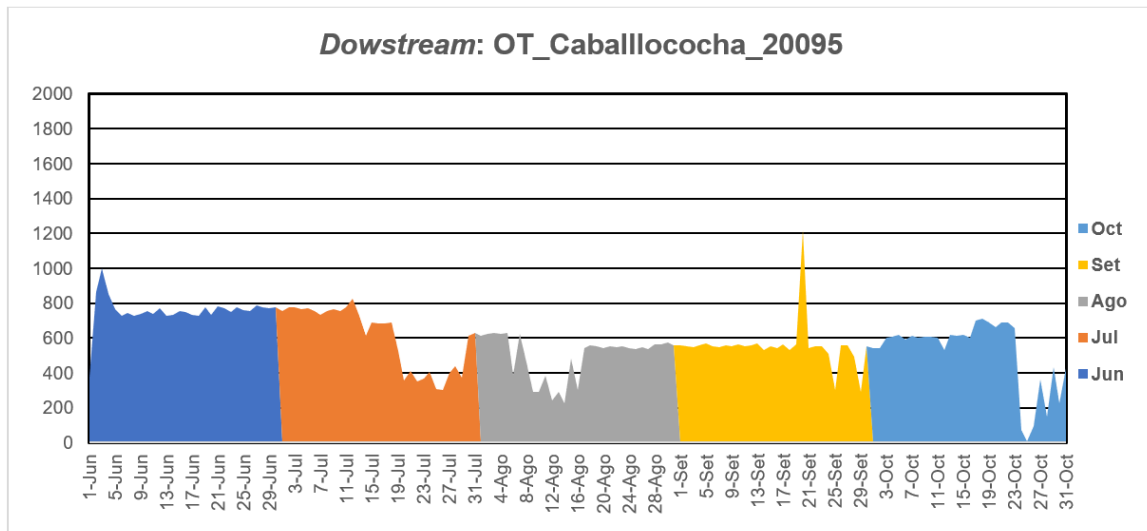


Figura 60. Historial de tráfico Downstream.

Fuente: Elaboración propia mediante el software Excel.

En la figura 61 se presenta un reporte de tráfico *upstream* del enlace satelital instalado en la ciudad de Caballacocho.

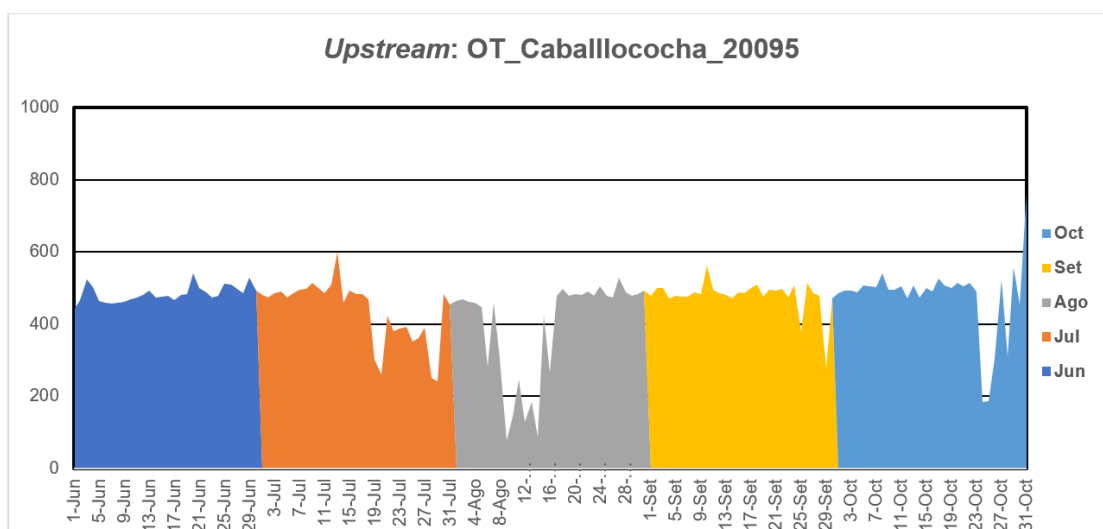


Figura 61. Historial de tráfico Upstream.

Fuente: Elaboración propia mediante el software Excel.

c) VSAT instalada en Caballococha.

Las VSAT deben ser ubicadas en una posición estratégica que permita tener una línea de vista despejada el satélite asignado, la instalación se realizó en el techo de la institución para no tener obstrucciones de línea de vista que perjudiquen la transmisión y recepción del enlace satelital. Adicionalmente la antena y el hardware *outdoor* quedo provisto por un pararrayos mientras que el hardware *indoor* quedó provisto por un poso a tierra.

En la tabla 6 se muestra la lista de equipos instalados para el servicio de Internet brindado por el enlace satelital.

Tabla 6. Hardware instalado en el enlace satelital.

EQUIPO	MARCA	MODELO	CANT.
ANTENA 2.4m.	PRODELIN	1250	01
BUC 5W	JRC	NJT5669F	01
LNB	JRC	NJS8486H	01
FEEDHORN LINEAR	PRODELIN	1250	01
MÓDEM	IDIRECT	EVOLUTION X1	01
RÚTER	TELDAT V	TELDAT V	01
SWITCH	CISCO	SG250-26-K9 V01	01
UPS	KOLFF	BLACK TT 3K	01
TARJETA DE RED UPS	KOLFF	N. A	01

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 62 se muestra la VSAT instalada en la ubicación indicada por el Operador de Telecomunicaciones en la ciudad de Caballococha.

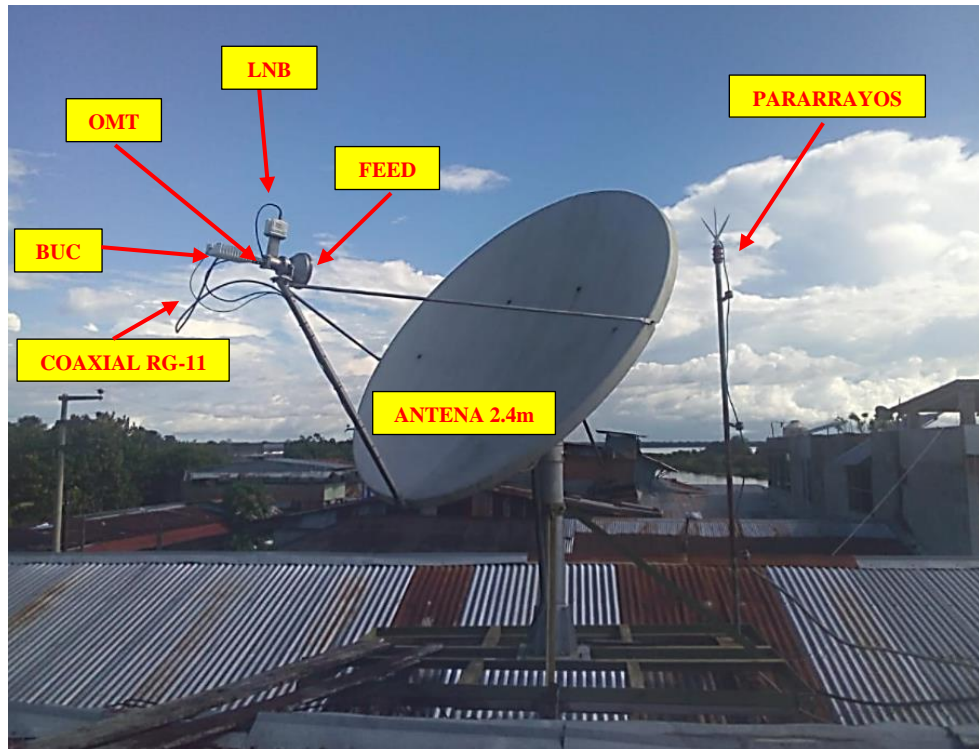


Figura 62. Instalación de VSAT en la ciudad de Caballococha.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 63 se muestra el hardware *indoor* instalado en el gabinete del Operador de Telecomunicaciones.

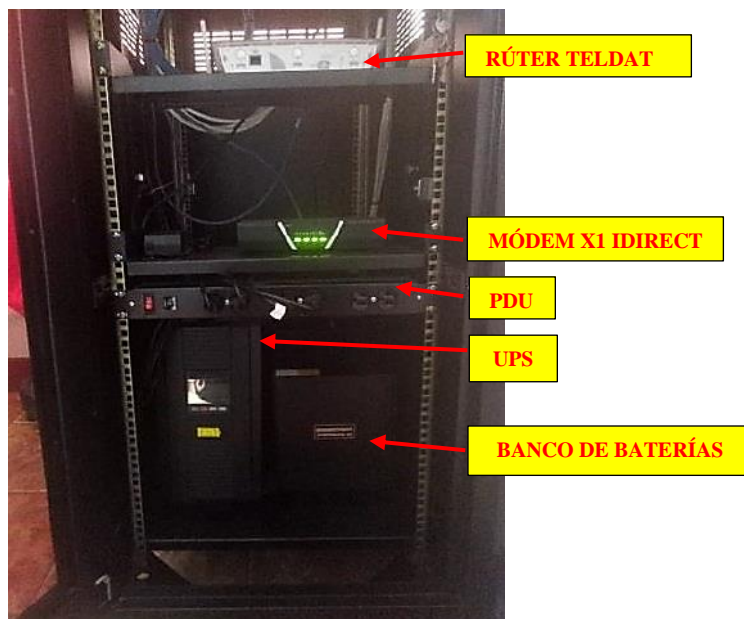


Figura 63. Instalación de hardware indoor.

Fuente: Elaboración propia.

El enlace satelital se instaló satisfactoriamente y quedó operativo para que el Operador de Telecomunicaciones pueda extender el servicio de tránsito de internet en la ciudad de Caballococha; con los valores de telemetría obtenidos se garantiza un correcto performance y capacidad requerida del servicio de internet.

En la tabla 7 se muestra el protocolo de validación del enlace satelital, el cual contrasta los valores obtenidos frente a los valores nominales de un enlace satelital geostacionario con tecnología TDMA.

Tabla 7. Protocolo de validación del enlace satelital en banda C.

VERIFICACIÓN DEL ENLACE SATELITAL	RESULTADOS DE MEDICIÓN	MÍNIMO VALOR REQUERIDO	ESTADO
Verificación del firmware del módem	21.0.1.1	21.0.1.1	✓
Alarmas en la recepción (CRC32/CRC8)	0	0	✓
Alarmas en la transmisión (CRC Tx)	0	0.02%	✓
Nivel de SNR	13.2dB	10.9dB	✓
Nivel de C/No	70.2dB	63.38 dB	✓
Nivel de aislamiento	28.27 dB	26dB	✓
Punto de compresión a 1dBm	-20dBm	-10dBm	✓
Potencia máxima de transmisión	-22dBm	-12dBm	✓
Potencia mínima de transmisión	-27dBm	-30dBm	✓
Latencia del HUB a IP WAN del módem	576ms	800ms	✓
Latencia del HUB a la IP del rúter	589ms	800ms	✓
Latencia del HUB al UPS	583ms	800ms	✓
Saturación en <i>downstream</i>	2048Kbits/s	2048Kbits/s	✓
Saturación en <i>upstream</i>	1024Kbits/s	1024Kbits/s	✓
Autonomía del UPS	60min	60min	✓

Fuente: Proveedor satelital. 2019.

2.3.4 Réditos del servicio de Internet satelital.

En relación con los réditos obtenidos por parte del proveedor satelital por temas de confidencialidad no se precisan los réditos exactos del proyecto, en

cambio se brinda un promedio de los ingresos obtenidos por el servicio de Internet satelital en banda C y también se especifican algunas características del servicio.

En la tabla 8 se muestra el rédito mensual obtenido por concepto del servicio de Internet satelital brindado al Operador de Telecomunicaciones.

Tabla 8. Rédito mensual por servicio de Internet satelital.

Descripción	Cantidad	Precio unitario
Servicio de Internet satelital VSAT 2/1Mbps banda C	01	\$ 2500

Fuente: Proveedor satelital. 2019.

En la tabla 9 se muestra los gastos estimados por concepto del servicio de instalación.

Tabla 9. Rédito por servicio de instalación.

Descripción	Cantidad	Precio unitario
Instalación y configuración del servicio	01	\$ 2000

Fuente: Proveedor satelital. 2019.

En la tabla 10 se muestran las características técnicas y comerciales del servicio.

Tabla 10. Características comerciales y técnicas del servicio satelital.

Características comerciales
- Contrato de 12 meses
- Instalación base, pozo a tierra y pararrayos
- Soporte técnico 24x7
- Desplazamiento técnico en un plazo de 48h ante averías
Características técnicas
- Tecnología: iDirect TDMA
- Satélite: IS-14 banda C
- Latencia promedio: 750mseg
- Capacidad: 4/2 Mbps CIR: 0.8/0.4 Mbps
- Disponibilidad: 99.8%
- Equipamiento: Antena offset 2.4, módem iDirect X1, BUC5W y LNB banda C

Fuente: Proveedor satelital. 2019.

Los cursos de transmisión de datos, arquitectura de redes y protocolos, telecomunicaciones, radio propagación de antenas, sistemas de microondas y vía satélite contribuyeron en la formación académica, forjando las bases técnicas para el desarrollo profesional, donde se consolidan los conocimientos adquiridos.

En la tabla 11 se sintetizan la contribución y habilidades adquiridas mediante los cursos abordados en la etapa académica.

Tabla 11. Contribución de habilidades adquiridas en la etapa académica.

Cursos	Conocimientos académicos
Transmisión de datos	En el curso se aprendieron las topologías y clasificaciones de redes de telecomunicaciones, también las principales tecnologías de transmisión de datos, aprendiéndose a diseñar redes, por tanto, contribuye al proyecto como fundamento en el diseño de la red LAN del enlace.
Arquitectura de redes y protocolos	En cuanto al curso en mención se adquirieron conocimientos de transporte, redes IP, protocolos y aplicación de arquitecturas de redes; en efecto se obtienen habilidades para diseñar redes que converjan con distintas tecnologías. Contribuye en el proyecto con el diseño a nivel WAN, del mismo modo los conceptos contribuyen en las pruebas de conectividad realizadas.
Telecomunicaciones I Telecomunicaciones II Telecomunicaciones III	Los conocimientos adquiridos en el desarrollo de los cursos de telecomunicaciones I, II y III son fundamentales porque abordaron todas las tecnologías de telecomunicaciones; en particular los enlaces satelitales convergen con otras tecnologías ya sea alámbrica o inalámbrica. En el proyecto contribuyo mediante la aplicación de los conceptos de modulación, multiplexación, ancho de banda y radiofrecuencias.
Radio propagación de antenas	Se adquirió conocimientos de propagación de datos vía conectividad inalámbrica mediante la aplicación de antenas, también abordo los fundamentos teóricos y los tipos de antenas que se utilizan según la tecnología de propagación, concretamente el en presente trabajo se hace uso de una antena parabólica offset.
Sistemas de microondas y vía satélite	Durante la formación profesional se obtuvieron conocimientos teóricos de las redes de comunicaciones satelitales, tecnologías, análisis y cálculos de enlace satelital. Los conocimientos abordados en la materia han permitido que el presente trabajo se lleve a cabo y se consolide en el campo laboral.

Fuente: Elaboración propia.

2.4 Resultados.

Respecto al beneficio que recibe el centro laboral es principalmente económico debido a que el ingeniero NOC implementa enlaces satelitales que forman parte de los ingresos mensuales de la empresa, por ejemplo, durante el segundo semestre del 2020 se instalaron 250 estaciones satelitales remotas para zonas rurales en Colombia promovidos por el gobierno de ese país. Por otro lado, el ingeniero NOC cuida de la calidad de servicio al centralizar todos los requerimientos e incidentes demandados por los clientes dado que pertenece a un área que brinda soporte 24x7 a nivel internacional bajo conceptos de buenas prácticas de servicio.

La puesta en marcha del presente proyecto permite que el Operador de Telecomunicaciones pueda conexionar a uno de sus clientes en una zona remota donde otra tecnología alámbrica de Internet no fue viable, esto representa también para el Operador de Telecomunicaciones un ingreso económico mensual de ahí que permite fidelizar al cliente final, este escenario es común dentro del rubro de las telecomunicaciones porque frente a la problemática de no brindar conectividad en una determinada zona, necesita aliarse y arrendar circuitos a otros proveedores. Acerca del cliente final, al ser una institución dedicada a la protección de control migratorio en la ciudad de Cabalococha, la conectividad a Internet y accesos a la red virtual privada institucional permite el desarrollo de sus funciones mitigando actividades ilícitas como por ejemplo minería ilegal, lavado de activos, extorciones, trata de personas, contrabando y crimen organizado, por otra parte esta institución durante el 2019 por conceptos de Internet, telefonía fija y móvil invirtió S/. 3336135.48 en sus 61 sedes, ese mismo año la sede de Cabalococha registro un total de 216 ingresos y salidas de extranjeros.

En efecto la tecnología de Internet satelital se mantiene en constante desarrollo y tiene una mirada hacia el futuro porque, así como en el Perú hay múltiples localidades rurales sin acceso a Internet, en otros países abordan esta misma problemática y la solución de carencia de conectividad representa un desarrollo económico y social.

CONCLUSIONES

- Se calculó una latencia de 539 ms, en el tramo satelital desde Lurín a Caballococha (479 ms) y en el tramo terrestre (60 ms). Experimentalmente, se obtuvo que la latencia mínima fue de 544 ms y la máxima fue de 749 ms.
- La configuración del enlace satelital en el sistema de gestión de red obtuvo los niveles de 70.2dB en C/No y 13.2dB en SNR, superando los niveles mínimos requeridos, garantizando el *Uplink* y *downlink* respectivamente.
- Durante la prueba de saturación del enlace satelital, se observó que el tráfico de Internet operó en la máxima tasa de transferencia configurada, 2000Kbits/s en *downstream* y 1000Kbits/s en *upstream*.
- La reutilización de frecuencias asignadas al enlace satelital se garantiza tras la certificación satelital, al obtener el nivel de polarización lineal requerido según las recomendaciones ITU-R S.736-3, ITU-R S.1844 e ITU-R S.580-5.
- Se corroboró mayor disponibilidad del enlace en banda C frente a otro en banda Ku ubicado también en Caballococha, dado que en un mismo tiempo y factor climático adverso sufrió menos atenuación del nivel de SNR.

RECOMENDACIONES

- Los operadores satelitales publican los parámetros de diseño y recomendaciones técnicas de operatividad de los satélites, por lo tanto se sugiere la revisión de la documentación técnica del satélite a utilizar. Para los enlaces que operen con el operador Intelsat los estándares IESS-207 y IESS-601 son para el diseño y soporte de enlaces en banda C.
- Como prevención frente averías fortuitas es recomendable mantener un stock disponible del hardware instalado a fin de reemplazar el hardware averiado dentro del tiempo pactado de resolución de incidentes.
- La planificación de mantenimientos preventivos y correctivos de las VSAT son recomendables a fin de mitigar posibles interferencias debido a que los mecanismos de la antena al estar expuestos frente a fuertes vientos y climas adversos ceden ligeramente de la posición original, disminuyendo con el paso del tiempo los niveles de transmisión, recepción y aislamiento de la antena direccionada hacia el satélite.
- En las mediciones de los niveles de polarización, es recomendable la verificación del clima no solo en la zona donde está instalada la estación remota sino también se considera la línea de vista hacia el satélite dado que la lluvia, nieve o fuertes vientos que inciden sobre el enlace causan despolarización en comparación a un cielo despejado.
- Los enlaces satelitales en banda C al trabajar en un rango similar a las frecuencias que otros sistemas de telecomunicaciones operan, debido a esto podrían verse afectadas en performance, se recomienda la instalación de la VSAT alejada del radio de los enlaces microondas. Por otro lado las comunicaciones satelitales en banda C según la ITU, tiene proyectado la coexistencia con la tecnología 5G que operará en la misma banda.

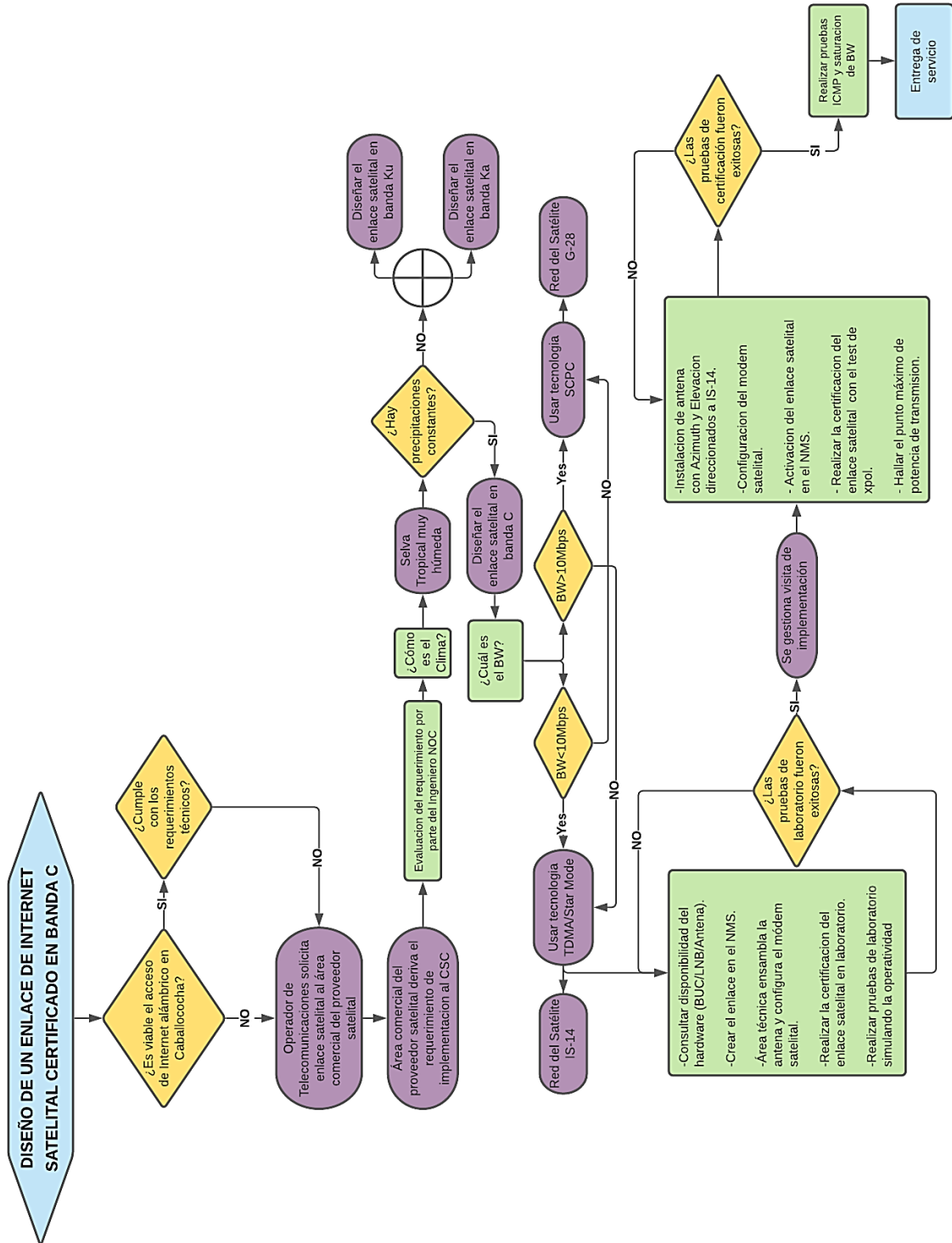
BIBLIOGRAFÍA

- Beemsterboer, O., Brooker, R. (2006). *VSAT Installation and Maintenance Training Level 2*. Herts, United Kingdom. GVF.
- Briceño, J. E. (2009). *Principio de las comunicaciones*. Mérida, Venezuela.
- Burleigh, S. C., et al. (2019). *From Connectivity to Advanced Internet Services: A Comprehensive Review of Small Satellites Communications and Networks*. *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2019, 6243505. Recuperado de: <https://doi.org/10.1155/2019/6243505>.
- Elbert, B.R. (2004). *The Satellite Communication Applications Handbook*. Norwood, United States of America. Artech House, INC.
- ETSI. (2015). *ETSI TR 102 367-1 Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications*. Francia.
- Huidobro, J. M. (2014). *Telecomunicaciones Tecnologías, Redes y Servicios*. Madrid, España. Ra-Ma.
- INTELSAT. (2005). *Intelsat Earth Station Standards (IESS) Document IEES-207*. Recuperado de: <https://www.intelsat.com/wp-content/uploads/2020/08/IESS-207E.pdf>
- INTELSAT. (2005). *Intelsat Earth Station Standards (IESS) Document IEES-601*. Recuperado de: <https://www.intelsat.com/wp-content/uploads/2020/08/IESS-601E.pdf>
- INEI. (2017). *Loreto Compendio Estadístico*. Lima, Perú.
- ITU. (2014). *Manual de Comunicaciones para la investigación espacial*. Ginebra, Suiza.

- ITU. (2002). *Handbook on Satellite Communications*. Wiley.
- ITU. (2002). *Handbook Mobile Satellite Service*. Ginebra, Suiza.
- Kim, C., et al. (2020). *Propagation From Geostationary Orbit Satellite to Ground Station Considering Dispersive and Inhomogeneous Atmospheric Environments*. IEEE Access, vol. 8, pp. 161542-161550, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3021123.
- Lagunas, C., et al. (2020). *5G Cellular and Fixed Satellite Service Spectrum Coexistence in C-Band*. IEEE Access, vol. 8, pp. 72078-72094, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2985.
- MTC. (2019). *Plan nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF)*. Lima, Perú.
- Roddy, D. (2006). *Satellite Communications*. United States of America. McGraw-Hill.
- SENAMHI. (2020). *Monitoreo meteorológico N°070 SENAMHI/DMA/SPM*. Lima, Perú. Recuperado de: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02201SENA-2392.pdf>
- Tanenbaum, A. (2003). *Redes de Computadoras*. México. Pearson Education.
- Tomasi, W. (2014). *Advanced Electronic Communications System*. Harlow, United Kingdom. Pearson Education.
- Yanjun Y., et al. (2019). *A survey on secure routing protocols for satellite network*. Journal of Network and Computer Applications, Volume 145, 102415, ISSN 1084-8045. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2019.102415>.
- Sun, C., et al. (2019). *Modeling and Calibrating the Ground-Surface Beam Pointing of GEO Satellite*. IEEE Access, vol. 7, pp. 121897-121906, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2931573.

ANEXOS

ANEXO A: Flujo del diseño de enlaces satelitales.



ANEXO B: Especificaciones técnicas de BUC NJT5669 5W banda C.

■ C-band 5W BUC

MODEL No. NJT5669, NJT5670, NJT5675, & NJT5677 series

< Features >

- * **High Efficiency Output Power**
 - P1dB: +37.0 dBm min. over temperature
- * **Low Power Consumption**
 - Power Consumption: 48 W
- * **Small Size & Light Weight**
 - Weight: 1.9 kg
- * **LED Indicator**
- * **RoHS Compliance**



< Line-up >

Model No.	RF Frequency	Local Frequency	IF Frequency	Output Power @ P1dB	IF Connector	Power Supply	LED Indicator
NJT5669	5.85 to 6.425 GHz (Standard C-band)	4.90 GHz	950 to 1,525 MHz	5W Linear (+37 dBm min.)	N-type	+24 VDC (+15 to +30 VDC)	Equipped
NJT5669F					F-type		
NJT5675N	6.365 to 6.725 GHz (Palapa C-band)	5.30 GHz	1,065 to 1,425 MHz		N-type		
NJT5675F					F-type		
NJT5677N	5.85 to 6.725 GHz (Full C-band)	4.90 GHz	950 to 1,825 MHz		N-type		
NJT5677F					F-type		
NJT5670	6.725 to 7.025 GHz (Insat C-band)	5.76 GHz	965 to 1,265 MHz		N-type		
NJT5670F					F-type		

< Specifications >

Item	Specifications	
Output Interface	Waveguide, CPR137 (with Groove)	
Input Interface	N-type, female (50 ohm) [Model No.: NJT5669/70/75N/77N] F-type, female (75 ohm) [Model No.: NJT5669F/70F/75F/77F]	
Output Power @ 1 dB G.C.P.	+37 dBm min. over temperature	
Linear Gain	61 dB nom.	
Requirement for External Reference	[Frequency]	10 MHz (sine-wave)
	[Input Power]	-5 to +5 dBm @ Input port
	[Phase Noise]	-120 dBc/Hz max. @ 100 Hz
		-130 dBc/Hz max. @ 1 kHz
		-140 dBc/Hz max. @ 10 kHz
L.O. Phase Noise	-60 dBc/Hz max. @ 100 Hz -70 dBc/Hz max. @ 1 kHz -80 dBc/Hz max. @ 10 kHz -90 dBc/Hz max. @ 100 kHz	
Receive Band Noise Density	-87 dBm/4kHz max.	
Input V.S.W.R.	2.0 : 1 max.	
Output V.S.W.R.	2.0 : 1 max.	
Power Requirement	+24 VDC (+15 to +30 VDC)	
Power Consumption	48 W max.	
Mute	Shut off the HPA in case of L.O. unlocked or no 10 MHz reference signal.	
LED Indicator	GREEN: L.O. locked / RED: L.O. unlocked or no 10 MHz reference signal	
Temperature Range (ambient)	-40 to +55 °C (operating), -40 to +75 °C (storage)	
Waterproof/Dustproof (IP Code)	IP 67	
Dimension & Housing (without Interface Connectors)	190.6 mm (L) x 160 mm (W) x 59 mm (H)	
	[7.50" (L) x 6.30" (W) x 2.32" (H)]	
Weight	1.9 kg [4.2 lbs]	

ANEXO C: Especificaciones eléctricas de LNB NJS8486.

#	Items	Specifications
1.1.	Absolute Maximum Rating	
	[RF Input Power]	-10 dBm (@ CW), +10 dBm (@ Pulse)
	[Supply Voltage]	+28 V DC
1.2.	Input RF Frequency Range	
	<Model No. NJS8486>	3.4 to 4.2 GHz
	<Model No. NJS8487>	3.625 to 4.2 GHz
	<Model No. NJS8488>	4.5 to 4.8 GHz
1.3.	Noise Temperature @ +25 °C	15 K typ. 30 K max.
1.4.	Output IF Frequency Range	
	<Model No. NJS8486>	950 to 1,750 MHz
	<Model No. NJS8487>	950 to 1,525 MHz
	<Model No. NJS8488>	960 to 1,260 MHz
1.5.	Conversion Gain @ +25 °C	59 dB min. 66 dB max.
1.6.	Conversion Gain Ripple @ +25 °C	2 dBp-p max. at 50 MHz segments.
1.7.	Conversion Gain Flatness over Freq. @ +25 °C	
	<Model No. NJS8486>	7 dBp-p max. at 800 MHz BW
	<Model No. NJS8487>	5 dBp-p max. at 575 MHz BW
	<Model No. NJS8488>	4 dBp-p max. at 300 MHz BW
1.8.	Conversion Gain Variation over Temperature	5 dB max.
1.9.	Output Power @ 1dB G.C.P. (P1dB)	+3 dBm min.
1.10.	Intermodulation Products (3rd order Intermodulation rejection with two -75 dBm input carriers separated by 10 MHz.)	45 dBm min.
1.11.	Output Intercept Point	+13 dBm min.
1.12.	Local Oscillator Frequency	
	<Model No. NJS8486 series>	5.15 GHz
	<Model No. NJS8487 series>	5.15 GHz
	<Model No. NJS8488 series>	5.76 GHz
1.13.	Local Oscillator Stability (Initial set and Temp.: -40 to +60 °C)	
	<H-type>	Internal Reference, +/- 10 ppm max.
	<S-type>	Internal Reference, +/- 3 ppm max.
	<U-type>	Internal Reference, +/- 1 ppm max.
	<E-type>	Depends on External Reference

ANEXO D: Especificaciones técnicas de módem iDirect X1.

Evolution X1 Series Satellite Router X1-Ku/C



Cost-effective remote bundle ideal for large-scale networks for SCADA, Point of Sale, ATM, Femtocells, and small Enterprise applications. The remote features DVB-S2/ACM and Adaptive TDMA, routing, VLAN functionality, QoS and optional AES encryption.

Network Configuration

Network Topology	Star (DVB-S2/ACM downstream + ATDMA upstream)		
Modulation	Downstream: QPSK, 8PSK, 16APSK; Upstream: BPSK, QPSK, 8PSK		
Maximum Rates Supported	Rate	Downstream (DVB-S2)	Upstream (ATDMA)
	Symbol rate	1 - 45 Msps	128 ksps - 4 Msps*
	Info rate	Up to 150 Mbps	Up to 10 Mbps*
	Line Card IP rate	Up to 149 Mbps	Up to 8.5 Mbps
	Remote IP data rate	Up to 76.3 Mbps	Up to 8.5 Mbps*
	Max rates are achieved under optimal conditions.		
FEC	Downstream: LDPC, 1/4 - 8/9 Upstream: 2D 16-State, 1/2 - 6/7		
E_b/N₀	For full list, please refer to the latest iDirect Link Budget Analysis Guide		

Interfaces

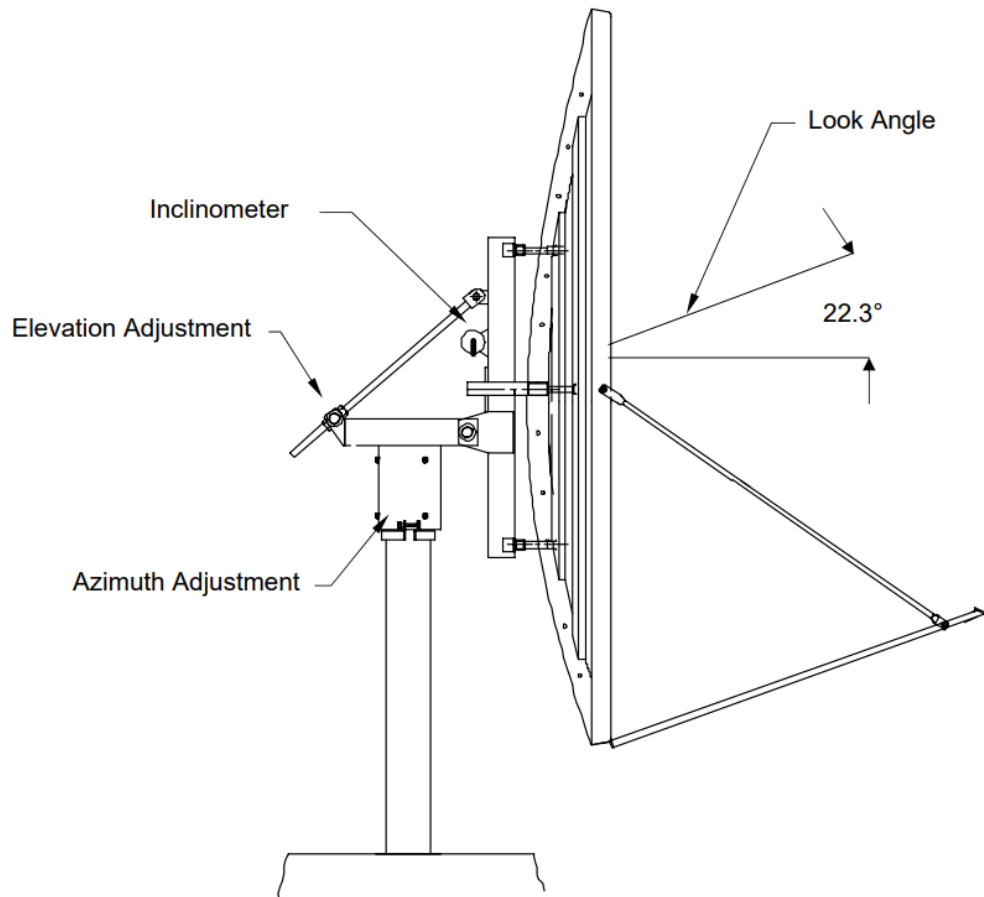
SatCom Interfaces	TxIF: Type-F, 950 - 1700 MHz, Composite Power 0dBm / -30dBm RxIF: Type-F, 950 - 2150MHz, Composite Power -5dBm / -65dBm 10MHz IFL BUC reference
Available BUC Power (IFL)	+24V, 1.5A (max) (65W external PSU) +24V, 2.1A (max) (90W external PSU)
Available LNB Power (IFL)	+24VDC, 300mA (max), 22kHz DISEqC tone
Data Interfaces	LAN: 10/100 Ethernet Web-based configuration via Ethernet port
Protocols Supported	TCP, UDP, ICMP, NAT/PAT*, DHCP, Local DNS Caching, cRTP*
Security	AES-256 Link Encryption* (optional)
Traffic Engineering	QoS (Priority Queuing, Strict Priority Queuing, WFQ); Application-based QoS; Configurable Packet Classifier; CIR (Static and Dynamic), Minimum CIR, Idle/Dormant Min IR
Other Features	Built-in Automatic Uplink Power Control, Frequency and Timing Control, Authentication

Mechanical/ Environmental

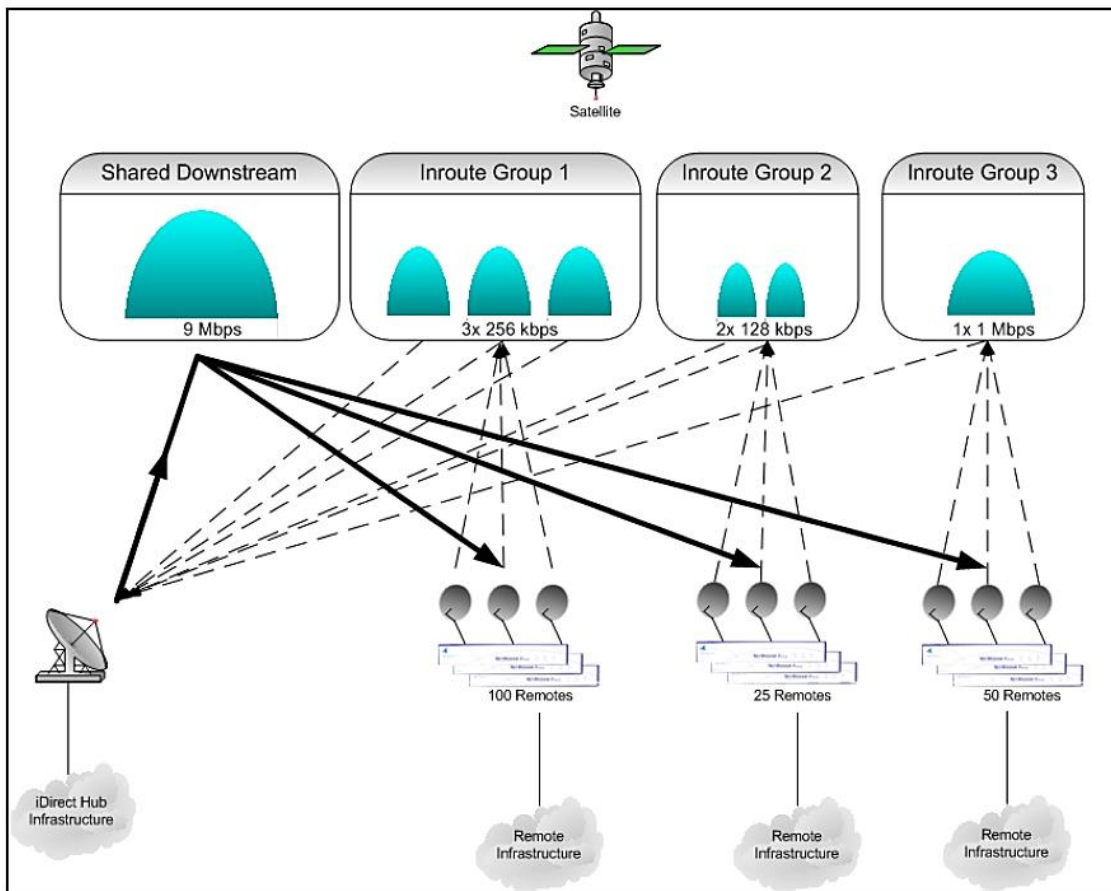
Size	9 x 6.8 x 1.8 inches (22.9 x 17.3 x 4.6 cm)
Weight	1.8 lbs (0.82 kg)
Operating Temperature	0° to +50°C (32° to +122°F) with up to 75W max power consumption 0° to +40°C (32° to +104°F) with up to 90W max power consumption
Humidity	5% - 92% non-condensing humidity
Input Voltage	100-240 VAC Single Phase, 50-60 Hz
Certification	FCC, CE, TUV, and RoHS compliant

* iDX 3.3.0 and above

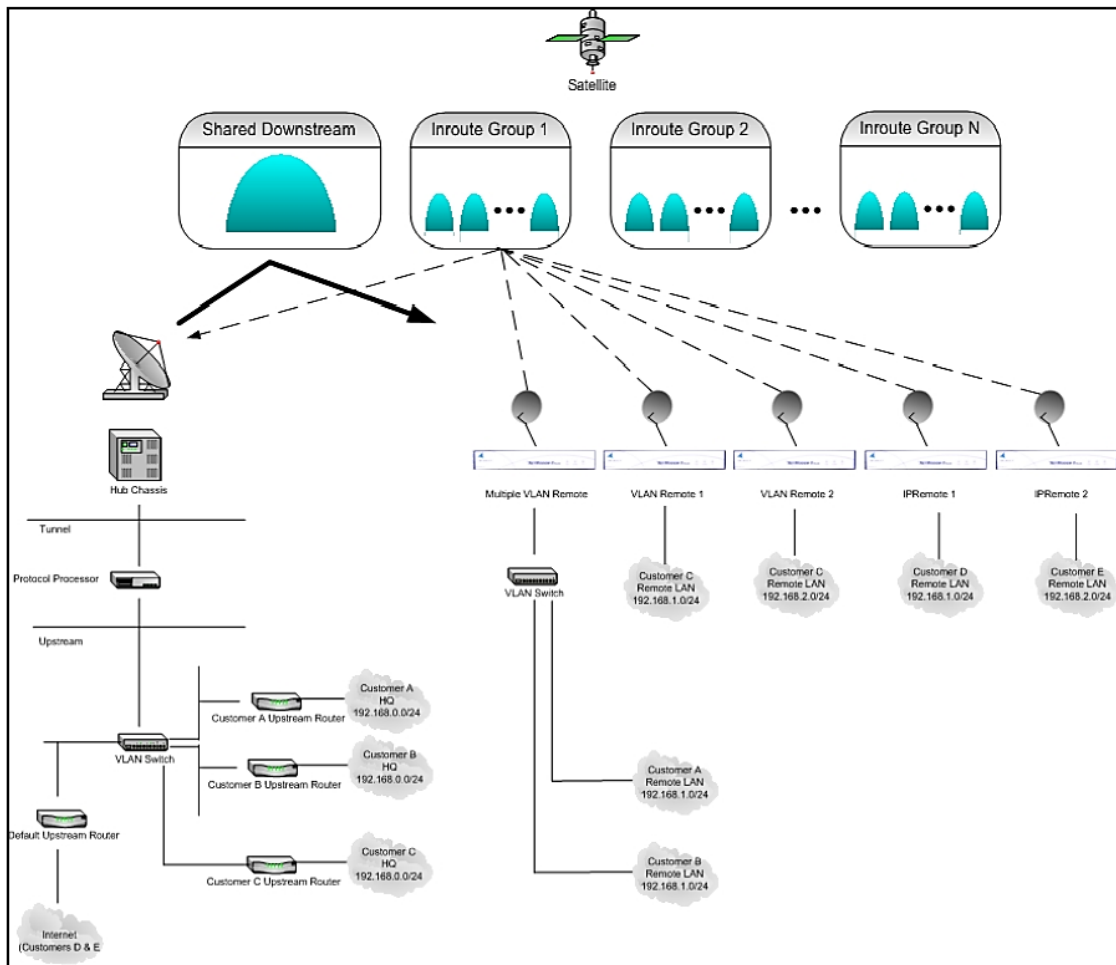
ANEXO E: Diagrama de antena offset de 2.4m.



ANEXO F: Topología de enrutamiento de tráfico en tecnología iDirect.



ANEXO G: Topología IP de tecnología iDirect.



ANEXO H: Especificaciones técnicas de UPS Black TTUPS On-Line.



Especificaciones

Modelo		Black TT 1K	Black TT 1K XL	Black TT 2K	Black TT 2K XL	Black TT 3K	Black TT 3K XL
Capacidad		1000VA/900W		2000VA/1800W		3000VA/2700W	
Entrada	Rango de Voltaje	110 ~ 300 V _{AC}					
	Rango de Frecuencia	45-55 Hz/54-66 Hz					
	Fases	Monofásico mas Tierra					
	Distorsión de Corriente (THDi)	<5% a plena carga					
Salida	Factor de Potencia	0.9					
	Voltaje Nominal	200 ¹ /208 ² /220/230/240V _{AC}					
	Regulación de Voltaje	±1 %					
	Rango Frecuencia (Modo Batería)	50/60Hz ± 0.2 Hz					
	Factor de Cresta	3:1					
	Distorsión de Voltaje (THDv)	<3% @carga lineal, <5% @carga no lineal					
	Forma de Onda	Sinusoidal pura					
Eficiencia	Operación Paralelo	N/A					
	Modo Inversor	87%		88%			
	Modo Batería	85%					
	Modo ECO	94%					
Batería	Tipo	12V / 7Ah	N/A	12V / 7Ah	N/A	12V / 7Ah	N/A
	Número de Baterías Internas	3	N/A	8	N/A	8	N/A
	Voltaje Nominal	36V		96V		96V	
	Tiempo de Autonomía	4 min	N/A	8 min	N/A	4 min	N/A
	Tiempo de Recarga (al 90%)	5 horas	N/A	5 horas	N/A	5 horas	N/A
	Corriente de Carga	1A	8A	1A	8A ó 12A (opcional)	1A	8A ó 12A (opcional)
Tiempo de Transferencia	Modo Batería ↔ Modo Inversor	0ms					
	Modo Inversor ↔ Modo Bypass	<4 ms					
	Modo ECO ↔ Modo Batería	<10ms					
Visualizador		LCD					
Alarma Audible		Sí					
Dimensiones	Ancho x Altura x Prof.	145 x 220 x 400 mm			192 x 347 x 460 mm		
Peso Neto		13 kg	7 kg	31 kg	13 kg	31 kg	13 kg
Ambiente	Temp. / Humedad de Operación	0-45°C / 0-95 % (sin condensación)					
	Nivel de Ruido	<50dB @1 metro					
Comunicaciones	USB/RS232	Sí/Opcional					
	Slot inteligente	Sí (opcional: SNMP/Relés/AS-400/Sensor Temp. y Humedad)					
	Apagado de Emergencia (EPO)	Sí					

Nota:

- 200V_{AC} se aplicará 80% de derrateo en la salida
- 208V_{AC} se aplicará 90% de derrateo en la salida
- Altitud de operación hasta 2000 msnm sin derrateo

ANEXO I: Requisitos de ancho de banda para enlaces satelitales en banda C.

IESS-601 (Rev. 12)
Page 29

Table 4

MINIMUM BANDWIDTH REQUIREMENTS FOR STANDARD G C-BAND EARTH STATIONS

Satellite (1)	ITU Region	Earth Station Transmit Freq. (GHz)	Earth Station Receive Freq. (GHz)	Transmit and Receive Bandwidth (MHz)
VI, VII, VIIA, VIII, IX & X (1002)	All	5.925 – 6.425 (2)	3.700 – 4.200 (2)	500
VIIIA (805)	All			
<u>Tx/Rx Antennas:</u>				
Band 1		5.925 – 6.425 (2)	3.700 – 4.200 (2)	500
Band 2		5.850 – 6.650 (3)	3.400 – 4.200 (3)	800
<u>Rx-Only Antennas:</u>				
Band 1		N/A	3.700 – 4.200 (2)	500
Band 2		N/A	3.400 – 4.200 (3)	800

NOTES:

- (1) Users are referred to the IESS-400 series modules for details of the channelization of the various Intelsat spacecraft.
- (2) At 6/4 GHz, users should consider in their design the possibility of extending their usable bandwidth down to 3.625 GHz for receive and down to 5.850 GHz for transmit, in order to include transponder (1' – 2') of Intelsat VI, VIII, VIIIA (805), IX and X (1002).
- (3) Some Administrations do not permit operation within the entire 5.850 – 6.650 GHz and 3.400 – 4.200 GHz Bands. Users in such Administrations may equip for those portions of the bands that are permitted.



Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

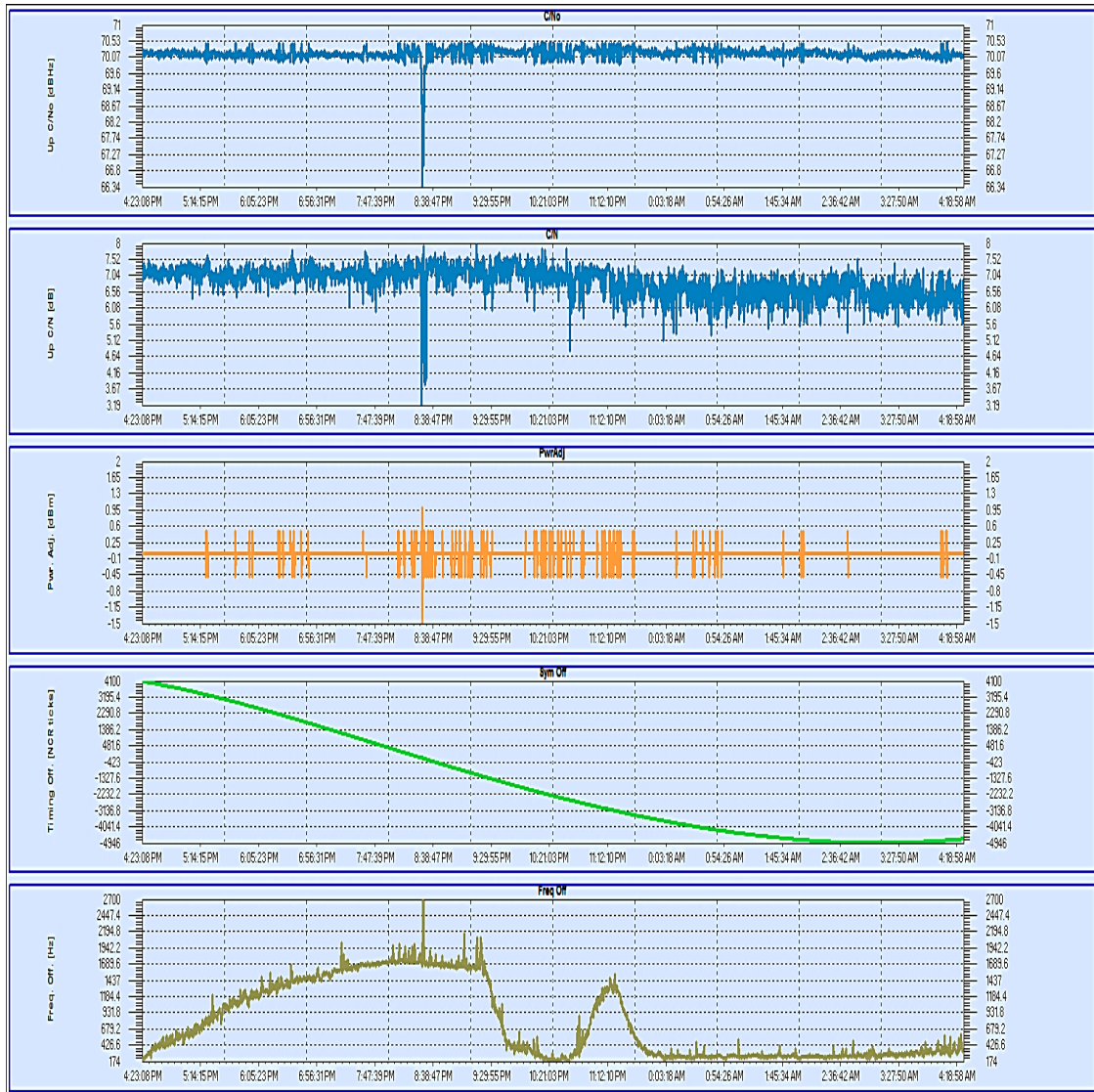
REGISTRO DE PROVEEDORES DE CAPACIDAD SATELITAL

ANEXO J: Registro de proveedores de capacidad satelital en Perú.

Actualizado al 17 de julio de 2020

Nº DE REGISTRO	NOMBRES/RAZÓN SOCIAL	DOMICILIO LEGAL	REPRESENTANTE LEGAL	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	SATÉLITES	
						DENOMINACIÓN	POSICIÓN ORBITAL
001-RPCSAT	INTELSAT GLOBAL SALES & MARKETING, LTD.	Avenida De La Floresta N° 497, Pico 5, distrito de San Borja, provincia y departamento de Lima	Eduardo Alfredo Guevara Dodds	3727373 / 3727171	eduardo.guevara@echecopar.com.pe	IS 603	340° E
						IS 705	310° E
						IS 707	307° E
						IS 801	328.5° E
						IS 805	304.5° E
						IS 901	342° E
						IS 903	325.5° E
						IS 905	335.5° E
						IS 907	332.5° E
						IS 1002	359° E
002-RPCSAT	INTELSAT US LLC	Av. Larco 1301 Pico 20, distrito de Miraflores, provincia y departamento de Lima	Luis Manuel Vinatasa Recoba	1-202-438-3752 / 1-202-9447558 / 61043747 / 61043748	lvinatasa@maffirma.com.pe / gonzalo.deidior@intelsat.com	GALAXY 28 (IA 8)	271° E
						INTELSAT-11	43.1° O
						INTELSAT-14	45° O
						IS-1R	50° O
						IS-21	58° O
						IS-23	53° O
						GALAXY 3C	95° O
						INTELSAT 30	95.05° O
						INTELSAT 31	95.05° O
						INTELSAT 29e	50° O
INTELSAT 34	55.5° O						
INTELSAT 35e	325.5° E						
INTELSAT 37e	342° E						
STAR ONE C1	65° O						
STAR ONE C2	70° O						
STAR ONE C3	75° O						
STAR ONE C4	70° O						
BRASILSAT B3	92° O						
STAR ONE D1	84° O						
AMAZONAS-2	61° O						
AMAZONAS-3	61° O						
HISPASAT 74W-1	74° O						
AMAZONAS-5	61° O						
STAR ONE C4	70° O						
STAR ONE D1	84° O						
003-RPCSAT	STAR ONE S/A	Calle Bernardo Monteagudo N° 201, distrito de San Isidro, provincia y departamento de Lima	Maria Eugenia Yábar Guevara	2190400	mariaaugeniyabar@esola.com.pe	STAR ONE C1	65° O
						STAR ONE C2	70° O
004-RPCSAT	HISPAMAR SATELITES S.A.	Calle Las Mercedes N° 320, Dpto. 403, Urb. La Aurora, distrito de Miraflores, provincia y departamento de Lima	Luis Alberto Maravi Saéz	1008256891 / 2242357 / 998709186	maravi@petrosz@infoneocio.net.pe / luismaravi30@gmail.com	BRASILSAT B3	92° O
						STAR ONE D1	84° O

ANEXO L: Nivel de C/N y C/No obtenidos.



ANEXO M: Eficiencia del satandar DVB-S2.

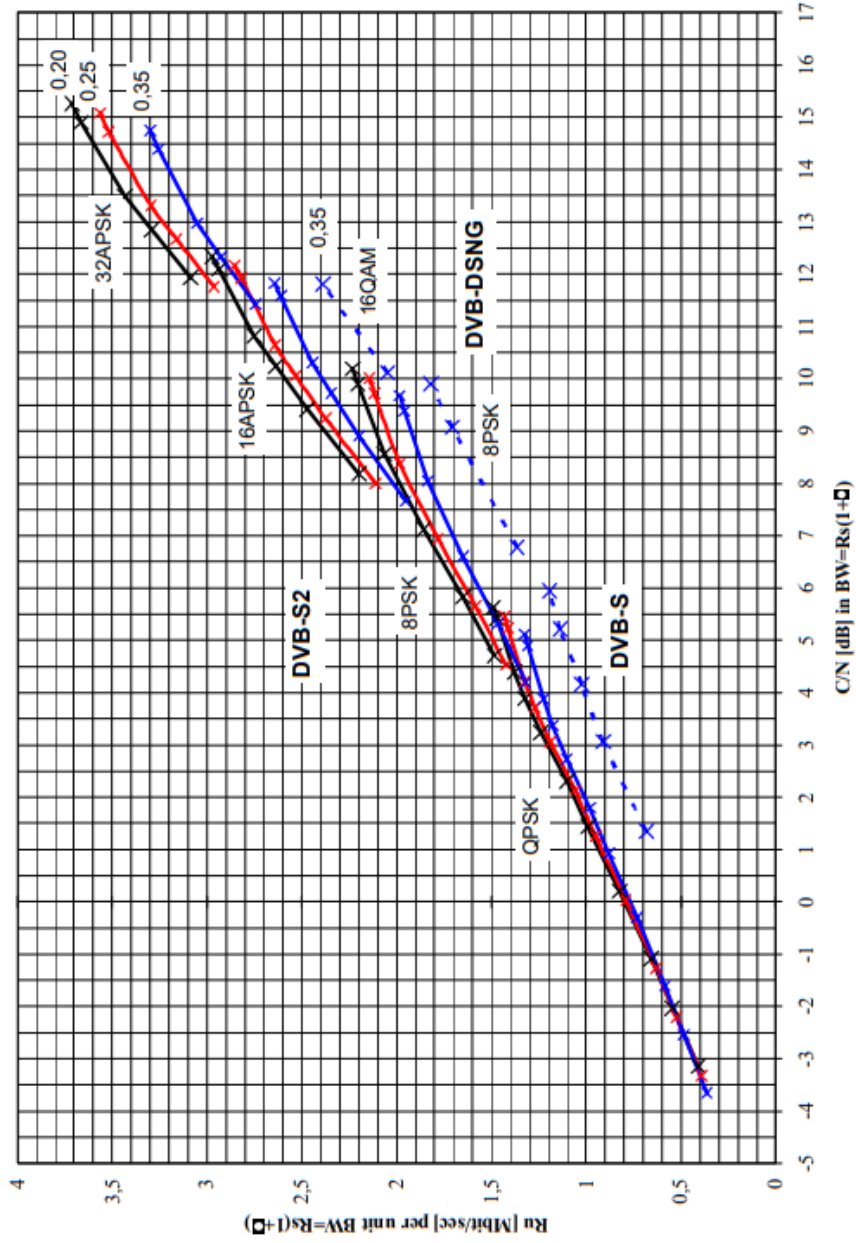


Figure 6: Required C/N versus spectrum efficiency for constant satellite bandwidth $BW = R_s(1+\alpha)$ on the AWGN channel (ideal demodulation) (C/N refers to average power)

ANEXO N: Predicción de interferencia solar sobre el enlace satelital.

Sun Interference Prediction

Satellite: Intelsat 14 [315.00 °E]
Season: Spring 2020
Latitude: -3.91 N
Longitude: 70.51 W
Diameter: 2.40 Meters
Frequency Band: C
Analysis Type: Single E/S Input Mode
Results Generated: 29-Nov-2020 06:54 GMT

Date	Start Time (GMT)	Duration
18-Mar-2021	14:47	7 minutes
19-Mar-2021	14:45	10 minutes
20-Mar-2021	14:44	11 minutes
21-Mar-2021	14:44	11 minutes
22-Mar-2021	14:44	10 minutes
23-Mar-2021	14:45	8 minutes
24-Mar-2021	14:47	4 minutes

Our Sun Outage Calculator generates estimates based on geometric angles only and does not account for parameters such as RF link margin, antenna mispointing, actual antenna performance (main lobe and side lobe) or exact frequency used, all of which will affect the actual observed RF outage duration.

To be conservative, we recommend allowing a margin by subtracting 10 minutes from the predicted start time and adding 10 minutes to the predicted end time generated by the calculator. Additionally, it is possible for some users to observe no discernable degradation during the predicted sun outage period, depending on each user's situation (e.g. link margin, antenna mispointing, antenna performance and frequency used).

ANEXO O: Simulación de ganancia de antena.

