



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**DISEÑO DE UN SISTEMA UNIDIRECCIONAL SATELITAL PARA
DIFUSIÓN DE DATOS EN LA ESCUELA RURAL PEDRO CORNELIO
DRUET**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones.**

Autor:

Segura Medranda Héctor Miguel

Tutor:

Phd. Daniel Antonio Santillán Haro.

Riobamba, Ecuador. 2022

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, Héctor Miguel Segura Medranda, con cédula de ciudadanía 0803388792, autor del trabajo de investigación titulado: **Diseño de un Sistema Unidireccional Satelital para Difusión de Datos en la escuela Rural Pedro Cornelio Druet**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 25 de agosto de 2022.



Héctor Miguel Segura Medranda

C.I:0803388792

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**Diseño de un Sistema Unidireccional Satelital para Difusión de Datos en la escuela Rural Pedro Cornelio Druet**” por **Héctor Miguel Segura Medranda**, con cédula de identidad número 0803388792, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 25 de agosto de 2022

Mgs. José Luis Jínez Tapia
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Klever Henán Torres Rodríguez.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



PhD. Carlos Ramiro Peñafiel Ojeda
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



PhD. Daniel Antonio Santillán Haro
TUTOR



CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **DISEÑO DE UN SISTEMA UNIDIRECCIONAL SATELITAL PARA DIFUSIÓN DE DATOS EN LA ESCUELA RURAL PEDRO CORNELIO DRUET** por **Héctor Miguel Segura Medranda**, con cédula de identidad número 0803388792, bajo la tutoría PhD. **Daniel Antonio Santillán Haro**; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 25 de agosto de 2022

Presidente del Tribunal de Grado
Mgs. José Luis Jínez Tapia



Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. Klever Henán Torres Rodríguez



Miembro del Tribunal de Grado
PhD. Carlos Ramiro Peñafiel Ojeda



CERTIFICACIÓN

Que, **SEGURA MEDRANDA HÉCTOR MIGUEL** con CC: **0803388792**, estudiante de la Carrera **ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA UNIDIRECCIONAL SATELITAL PARA DIFUSIÓN DE DATOS EN LA ESCUELA RURAL PEDRO CORNELIO DROUET ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**", cumple con el **9 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 10 de agosto de 2022



PhD. Daniel Antonio Santillán Haro
TUTOR(A) TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Los grandes esfuerzos siempre rinden frutos y ahora ya se empiezan a cosechar los mismos. Hoy es el final de algo muy bueno, pero el comienzo de algo mejor. El desarrollo de este trabajo de titulación está dedicado a Dios por darme la bendición de seguir en pie durante toda mi formación académica y culminar mi meta de ser un profesional.

A mis queridos padres Lizardo e Isabel quienes fueron mi pilar y ese gran apoyo incondicional y mi guía en el transcurso de mi formación profesional.

A mis hermanos, hermana, demás familiares y amigos que me ofrecieron ese apoyo con sus palabras, su apoyo moral creyendo en la capacidad de alcanzar esta meta

Héctor Segura M.

AGRADECIMIENTO.

En primer lugar, a Dios que por medio de su bendición me ha dado la perseverancia para seguir en este camino hasta poder culminar mi meta y ver alcanzado este gran éxito.

Padres

A mi ejemplo más grande mi vida que son mis padres, por el apoyo incondicional y su enorme confianza que desde el comienzo de este camino me han brindado para que por medio de este logro alcanzado se sientan orgullosos.

Hermanos

A mis hermanos y hermana Jomaira, Bladimir, Lizardo, Daniel, Pamela y Mariana Segura que siempre me han dado su apoyo, ofreciéndome su consejo alentando el deseo de culminar mi carrera.

Amigos, Familiares.

A mis familiares, amigos Jordán Castillo, Juana Francis, quienes me brindaron su apoyo incondicional para poder culminar este camino y alcanzando mí meta.

Tutor

A mi tutor de tesis PhD. Daniel Antonio Santillán Haro miembro del tribunal, docente de la Universidad Nacional de Chimborazo en la Facultad de Electrónica y Telecomunicaciones, gracias a su guía, sus conocimientos y consejos en el transcurso del desarrollo de mi trabajo de titulación que fueron de gran ayuda para la culminación del mismo.

Héctor Segura M.

Índice general

Índice de figuras	11
Índice de cuadros	13
1. Introducción.	15
1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.2. Justificación.	18
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1. Objetivo General.....	19
1.3.2. Objetivos Específicos.	19
2. Fundamento teórico.	20
2.1. Comunicación por Satélite.	20
2.1.1. Comunicación	20
2.1.2. Comunicación Satéllital.	21
2.1.3. Beneficios de las comunicaciones por Satélite.	21
2.2. Elementos de enlaces satéllitales.	22
2.2.1. Transponder.....	22
2.2.2. Estaciones Terrenas.....	22
2.3. Órbitas satéllitales.	22
2.4. Definición de redes VSAT.....	22
2.5. Bandas de frecuencia y cobertura.....	24
2.6. Cobertura.....	25
2.6.1. Satélite autorizado por la Arcote en banda Ku.	25
2.7. Atmósfera Terrestre.	26
2.7.1. Transmisión de datos usando DBS-S.	27
2.8. Tele-educación vía satélite en Ecuador.....	27
2.9. Aplicaciones.....	29
3. Metodología.	31
3.1. Tipo de investigación	31
3.2. Métodos de la investigación.	31
3.2.1. Técnicas de recolección de datos primarios y secundarios.	31
3.3. Escenario de prueba.	32

3.4.	Hipótesis y operacionalización de variables.	34
3.4.1.	Hipótesis de investigación H_i	34
3.4.1.1.	Hipótesis nula H_o	34
3.4.1.2.	Variable independiente.	34
3.4.1.3.	Variable dependiente.	34
3.4.1.4.	operacionalización de variables.	34
3.4.1.5.	Población y muestra.	35
3.4.2.	Sistema de recepción del enlace descendente.	35
3.5.	Análisis para el diseño del sistemas VSAT.	42
3.5.1.	Métodos de Diseño.	42
3.5.2.	Tasa de Error de Bit.	43
3.5.3.	Presupuesto del Enlace.	43
3.5.3.1.	C/N Relación de Portadora a ruido.	44
3.5.3.2.	Ecuacion del enlace.	45
3.5.3.3.	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente.	45
3.5.3.4.	Ganancia de la antena.	45
3.5.3.5.	Pérdidas de transmisión.	46
3.5.3.6.	Pérdidas en el espacio libre.	46
3.5.3.7.	Pérdidas atmosféricas.	47
3.5.3.8.	Efectos de la lluvia.	47
3.5.3.9.	Pérdidas de seguimiento.	49
3.5.3.10.	Temperatura de Ruido del Sistema.	49
3.5.3.11.	Figura de Mérito G/T.	51
3.5.3.12.	Relación Portadora a Ruido.	51
3.5.3.13.	Ruido Térmico en el enlace descendente.	52
3.5.4.	Viabilidad del Enlace.	53
3.5.5.	Ancho de Banda utilizado por la Red.	53
3.6.	Cálculo del enlace satélital.	56
3.6.1.	Parámetros técnicos estación terrena y segmento espacial	56
3.6.2.	Orientación de la antena hacia el Satélite.	56
3.6.3.	Cálculo por pérdidas de Transmisión.	59
3.6.4.	Temperatura de Ruido del Sistema.	60
3.6.5.	Calculo del enlace Descendente.	60
3.6.5.1.	Relación Portadora a Ruido del enlace descendente	60
3.6.5.2.	Ruido Térmico en el enlace descendente.	61
3.6.5.3.	Nivel de sensibilidad del Receptor.	61
3.6.5.4.	Nivel de Recepción de la señal.	61
3.6.6.	Tasa de Error de Bit.	61
3.7.	Diseño estructural de la red interna.	62
3.7.1.	Diseño de Capa 1.	62
3.7.2.	Punto de acceso inalámbrico.	67

4. Resultados y discusión.	69
4.1. Resultados.....	69
4.1.1. Generación y visualización de escenarios.	69
4.1.2. Pérdidas de Propagación en el segmento Espacio-Tierra.	71
4.1.3. Análisis del Presupuesto del enlace. (Link Budget).	73
4.1.4. Estimación de Ancho de Banda de la Red.	76
4.2. Análisis de costos.	77
4.2.1. Costo de equipos e Instalación.	77
4.2.2. Planes y tarifas de servicio de Internet satelital en Ecuador.	79
4.3. Prueba de rendimiento de la red.....	80
4.4. Comprobación de Hipotesis.	90
5. Conclusiones y trabajos futuros	93
5.1. Conclusiones.....	93
5.2. Trabajos futuros	94
A. Anexos	95
Bibliografía	100

Índice de figuras

2.1. Red VSAT [1].	23
2.2. Distribución de bandas de frecuencia y Cobertura [2].	25
3.1. Enlace satélital punto a punto [3].	32
3.2. Diagrama de bloques de las etapas de desarrollo del proyecto.	33
3.3. Diseño final de la red satélital.	36
3.4. Modem Satélital hughesnet HN7700S [4].	37
3.5. LNBF Single [5].	40
3.6. Antena parabólica de 1.2 metros [6].	41
3.7. Topología de red.	42
3.8. Factores de atenuaciín en el espacio libre [7].	44
3.9. Zonas climatológicas de Intensidad de Lluvia en America del Sur según la Rec. UIT-R P.837-I [8].	49
3.10. Margen de sensibilidad	53
3.11. Porcentaje de utilización de las aplicaciones [9].	55
3.12. Diagrama estructural de la red estructura interna.	63
3.13. Características cableado RJ-4540 [10].	64
3.14. Cableado vertical [10].	65
3.15. Subsistema de laboratorio de computo.	65
3.16. Swicth para red LAN [11].	66
3.17. Acess point CPE210 V3.20 [12].	67
4.1. Desplazamiento orbital del satélite	70
4.2. Huella de cobertura del satélite.	70
4.3. Atenuación debido a la lluvia para un rango de frecduencia dado.	72
4.4. Atenuación respecto al angulo de elevacion.	72
4.5. Atenuación por gases atmosféricos.	73
4.6. Pérdidas Atmosféricas por Tiempo de Porcentaje de Exceso por Año.	74
4.7. Escenario de simulación de los equipos de red.	80
4.8. Medias de latencia con un tamaño de paquete de 100bytes.	81
4.9. Variación de latencia a 100 bytes con 72 dispositivos	82
4.10. Medias de latencia con un tamaño de paquete de 10000bytes.	83
4.11. Variación de la latencia a 10000 bytes con 72 dispositivos.	83

4.12. Medias de latencia con un tamaño de paquete de 100bytes para el escenario 2.....	85
4.13. Variación de la latencia a 100 bytes con 40 dispositivos.	85
4.14. Medias de latencia con un tamaño de paquete de 10000bytes para el escenario 2.	86
4.15. Variación de la latencia a 10000 bytes con 40 dispositivos.	86
4.16. Medias de latencia con un tamaño de paquete de 100bytes para el escenario 3 con 40 dispositivos.	87
4.17. Variación de la latencia a 100 bytes con 40 dispositivos inalámbricos.	88
4.18. Medias de latencia con un tamaño de paquete de 10000 bytes para el escenario 3.	88
4.19. Variación de la latencia a 10000 bytes con 40 dispositivos inalámbricos.	89
A.1. Mapa de cobertura del satélite	95
A.2. Satellite Link Budget Analyzer - Aplicación para el presupuesto del enlace.....	96
A.3. Configuración de las propiedades de los parámetros.....	96
A.4. Escenario 1 con 72 dispositivos.....	97
A.5. Escenario 2 con 40 dispositivos.....	97
A.6. Escenario 3 con 40 dispositivos inalámbricos	98
A.7. Entrada principal.....	98
A.8. Pabellones de aulas.	98
A.9. Área de recreación.	99
A.10. Canchas deportivas.	99
A.11. Modelado de laboratorio de cómputo.	99

Índice de cuadros

2.1. Órbitas satelitales [1].	23
2.2. Bandas de frecuencias tecnología satéllital [13].	24
2.3. Sañelites autorizado por la ARCOTEL [14].	26
2.4. Sañelites autorizado por la ARCOTEL [14].	26
3.1. Operacionalidad de variables	34
3.2. Características técnicas del satélite Hispasat 36w - 1 [15]	37
3.3. Especificaciones técnica del modem HN7700S [4].	39
3.4. Especificaciones técnicas del LNBF [5].	40
3.5. Parametros de la antena MUL -1.2-KU [6].	41
3.6. Valores de atenuacion atmosférica [16].	47
3.7. Coeficientes de regresión para estimar el valor de la atenuación específica [17].	48
3.8. Zonas hidrometeorológicas e intensidad de lluvia excedida en (MM/H) según la REC. UIT-R P.837-1 [8].	49
3.9. Características de desempeño de estaciones terrenas (Banda Ku, eficiencia de la antena 60. Seguimiento manual requiere ajuste semanal de los ángulos de apuntamientos [16].	50
3.10. Comparación de presencia de errores en diversos esquemas de modulación digital (BER 10^{-6} de probabilidad de error) [18].	52
3.11. Ancho de banda promedio requerido por usuario [9].	54
3.12. Porcentaje de utilización por intervalo de tiempo [9].	55
3.13. Datos del Segmento Espacial y estación Terrena.	57
3.14. Características del switch TI-sg1024d [11].	66
3.15. Especificaciones del Access point CPE210 V3.20 [12].	68
4.1. Valores de atenuación debido por los efectos de lluvias.	71
4.2. a) Resultados del presupuesto del enlace.	75
4.3. b) Resultados del presupuesto del enlace.	75
4.4. Costo de equipamiento de la red.	78
4.5. Precios de los diferentes planes de internet.	79
4.6. Valores de latencia promedio de la red a 100bytes de tamaño de paquete.	81
4.7. Valores de latencia promedio de la red a 10000bytes de tamaño de paquete.	82

4.8. Valores de latencia promedio con un tamaño de paquete de 100bytes para el escenario 2 con 40 dispositivos.	84
4.9. Valores de latencia promedio con un tamaño de paquete de 10000bytes para el escenario 2 con 40 dispositivos.	86
4.10. Valores de latencia promedio con un tamaño de paquete de 100bytes para el escenario 3 con 40 dispositivos inalámbricos.	87
4.11. Valores de latencia promedio con un tamaño de paquete de 10000bytes para el escenario 3 con 40 dispositivos inalámbricos.	88
4.12. Cuadro comparativo de las medias de latencia de los escenario.....	89
4.13. P- vlor para el escenario 1 caso 1.....	90
4.14. P- valor para el escenario 1 caso 2.....	90
4.15. P- valor para el escenario 2 caso 1.....	90
4.16. P- vlor para el escenario 2 caso 2.....	91
4.17. P- valor para el escenario 3 caso 1.....	91
4.18. P- vlor para el escenario 3 caso 2.....	91

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad brindar una alternativa para el acceso a internet, a los estudiantes de la escuela rural que no cuenta con este recurso indispensable, mediante el diseño y análisis de una red VSAT, ideal para poblados aislado o zonas rurales que no son atendidos por las redes regionales públicas. También se muestra datos estadísticos relevantes, que muestran la sombría realidad que se vive en estos tipos de instituciones educativas rurales en cuanto al acceso de recursos tecnológicos como a servicios.

El segundo capítulo proporciona una descripción que va desde los diferentes elementos que constituyen la red, las arquitecturas y bandas de frecuencias más usadas, hasta los protocolos de acceso múltiple y principales aplicaciones actuales. De igual manera se estudia las características, ventajas, desventajas de comunicaciones por satélite y sus elementos.

En el tercer capítulo se establece la metodología de diseño, se realiza un análisis matemático del enlace de radiofrecuencia que se tiene de satélite a la estación terrena, se definen los principales parámetros tanto de las estaciones terrenas como del segmento espacial que se deben conocer a la hora de realizar los cálculos que caractericen el desempeño del enlace. A su vez se desarrolla un procedimiento a seguir a la hora de dimensionar el ancho de banda que ocupará una red VSAT. Se describe de manera detallada como se efectúa el cálculo del enlace de radiofrecuencia entre una estación remota y el transponder satelital. Por otro lado, se hace uso de las herramientas, "Satélite Communications Toolbox" de MATLAB para la verificación Y validación de los cálculos realizados de forma manual.

Además, se exponen los resultados del enlace de radiofrecuencia que nos proporciona los datos necesarios para determinar la factibilidad y viabilidad del mismo, a su vez se presenta el cálculo del ancho de banda necesario a la hora de implementar una red VSAT.

Por último se realiza las respectivas conclusiones y recomendaciones obtenida de la realización del presente de titulación, necesaria para el mejoramiento de la red de comunicación que satisfaga las necesidades actuales y futura del enlace satelital.

ABSTRACT

This project aims to provide an alternative for Internet access to rural school students who do not have this indispensable resource through the design and analysis of a VSAT network, ideal for non-served isolated villages or rural areas that use regional public networks. Relevant statistical data is also presented, showing these rural educational institutions' bleak access to technological resources and services.

The second chapter describes the different elements that make up the network, the most used architectures and frequency bands, multiple access protocols, and the main current applications. It also studies satellite communications' characteristics, advantages, disadvantages, and elements.

In the third chapter, the design methodology is established, a mathematical analysis of the radiofrequency link from the satellite to the earth station is performed, and the main parameters of both the earth stations and the space segment must be known when performing the calculations that characterize the performance of the link are defined. A procedure to be followed when dimensioning the bandwidth occupied by a VSAT network is developed. A detailed description is given of how to calculate the radio frequency link between a remote station and the satellite transponder. On the other hand, use the "Satellite Communications Toolbox" of MATLAB for verifying and validating the calculations performed manually.

The results of the radiofrequency link provide the necessary data to determine the feasibility and viability, as well as the calculation of the bandwidth required when implementing a VSAT network.

Finally, the respective conclusions and recommendations established the necessity for improving the communication network that satisfies the current and future needs of the satellite link.

Keywords: VSAT network, satellite, radiofrequency, link budget.



Firmado electrónicamente por:
**SOFIA FERNANDA
FREIRE CARRILLO**

Reviewed by:

Lic. Sofía Freire Carrillo

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604257881

Capítulo 1

Introducción.

Este trabajo de investigación plantea una propuesta de un diseño satelital, que facilite la obtención del servicio de Internet a la institución Educativa que se encuentra en una zona remota de la provincia de Esmeraldas, específicamente en la comunidad Tachina. Además, se describe y estudia las redes VSAT como una solución alternativa y sostenible de bajo costo [19]. La educación rural inclusiva y los recursos educativos abiertos, tienen el objetivo de presentar las plataformas de acceso satelital de banda ancha como un medio efectivo y competitivo para contribuir e incrementar la conectividad digital en la Institución [20]. Dado que el Internet en la actualidad es una necesidad para la población, y mucho más para las unidades educativas que se encuentran alejadas de la zona urbana, es importante buscar soluciones viables que ayuden a solventar o mejorar la deficiencia de conectividad en dichas instituciones, de manera eficiente utilizando alternativas simples, rápidas y de bajo costo. Una de las alternativas es el uso de las plataformas de acceso satelital, que gracias a sus ventajas de escalabilidad, flexibilidad y adaptabilidad son perfectas para este tipo de aplicación [21], por lo tanto, las redes VSAT son la mejor opción para comunicar lugares remotos de difícil acceso por sus distancias o por su compleja geografía [22]. Sin embargo, pese al compromiso del gobierno ecuatoriano de seguir reduciendo la brecha digital [23], escuelas como la Unidad Educativa Pedro Cornelio Drouet no cuentan con el acceso a internet.

Por otra parte, la actual crisis que afronta el planeta debido a la pandemia que provocó el virus COVID-19, ha aumentado considerablemente la obligación de integrar la educación a distancia en el sistema educativo tradicional, y más aún en lugares remotos; Por lo tanto, el acceso a Internet se ve muy obstaculizado. En Ecuador, solo el 37 % de los hogares tiene acceso al Internet [24], es decir; 6 de cada 10 niños no pueden continuar la escuela mediante plataformas digitales. La situación es más problemática para los niños de las zonas rurales, porque solo el 16 % de las familias dispone de este servicio. Comparando la tecnología de hoy con la tecnología que existía hace un par de décadas se observa un notable auge tecnológico, logrando un gran desarrollo en el campo de las telecomunicaciones, que permiten que las personas sean más activas

en la sociedad.

Si bien es cierto, hoy en día puedes conectarte a Internet desde casi cualquier lugar, en ocasiones una conexión por fibra o cable no es la mejor solución . En tales casos, una de las principales alternativas es internet satelital.

En este sentido, se puede argumentar que el mundo ha cambiado, la pandemia ha traído nuevas expectativas de vida, una combinación de factores informáticos y las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) ha desplazado el acceso digital a otro espacio como una necesidad mayoritaria, en toda acción humana, llámese social, laboral, educativo, o lo que sea que se esté haciendo. La ventaja de usar un enlace satelital es que puede acceder a la web en lugares donde no hay otras opciones de conectividad y no se necesita una línea telefónica de suscriptor para acceder a Internet, lo cual es una opción completa si está considerando una conexión inalámbrica móvil rápida.

Las mejoras en el diseño y fabricación de satélites han llevado al desarrollo de la banda ancha y las telecomunicaciones por satélite, una alternativa muy interesante para las empresas ISP. Hoy, hablar de conectividad satelital significa desarrollo y crecimiento económico [25]. Los servicios de banda ancha satelital brindan escalabilidad de conectividad incluso en las zonas más aisladas, donde no existe una infraestructura de telecomunicaciones terrestres, debido a que por su ubicación geográfica resulta muy costosa su implementación.

Hoy en día en el Ecuador se utilizan redes VSAT (Very Small Aperture Terminal) en las bandas C y Ku para ofrecer servicios de internet satelital, para este fin se suelen instalar terminales remotas en zonas rurales [26]. Entre los proveedores de internet satelital, está la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, cuya red satelital incluye dos redes VSAT [27]:

- La red VSAT SKY EDGE II de banda C proporciona cobertura de Internet y telefonía en canales satelitales, a varias velocidades para estaciones remotas que requieren antenas receptoras de 1,8 m y 2,4 m de diámetro.
- Red HUGHES VSAT, compuesta por estación HUB, circuito RF, antena principal y terminales satélite VSAT en banda Ku con antenas remotas de 1,2m y 1,8m de diámetro. TELESAT tiene actualmente un contrato para la banda satelital de 36 MHz [28].

1.1. Planteamiento del problema.

Los datos sobre la tecnología Información y Comunicación 2019, han sido presentado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), las cifras muestran que el país continúa experimentando desigualdad tanto en el acceso a los recursos tecnológicos como a los servicios. En 2019, el porcentaje de hogares con acceso a Internet a nivel nacional fue del 45,5%. Es decir, más de la mitad de los hogares no cuentan con este servicio. El área con mayor problema es la rural, llegando sólo a 21,6% de los hogares. La encuesta multitarea TIC INEC de 2019 mostró que la cantidad de hogares equipados con una computadora de escritorio disminuyó en un 1,2 en comparación con 2018. Por otro lado, la proporción de hogares con ordenador portátil aumentó un 4,3% [29].

La pandemia del COVID-19, ha afectado especialmente al sector de la educación en todo el mundo, gracias a la cuarentena, las instituciones educativas de todos los niveles se vieron obligadas a introducir la educación virtual [30], lo que sorprendió a todos; padres, maestros, alumnos y autoridades. Porque el país no estaba preparado ni en la capacidad de introducir este moderno y nuevo método de enseñanzas debido a sus carencias en la conectividad [31].

Durante la década de 1970, la educación a distancia en Ecuador se ofrecía a través de las escuelas de radio, pero no fue sino hasta 1976 que la Universidad Técnica Particular de Loja, puso en marcha una modalidad abierta, comúnmente conocida como la modalidad a distancia, que en el primer semestre contó con 1.273 alumnos matriculados y recibidos por esta modalidad, pero al año siguiente el número cayó a 656 estudiantes. Debido al método de trabajo, la experiencia del sistema en sí, no fue posible que la mayoría de los estudiante matriculados pudieran aprobar el año educativo, agregando el desprestigio que extendieron otras universidades presenciales, desconfiando de la efectividad y calidad de esta modalidad de estudios [32].

No obstante, es bien conocido el aumento significativo en cuanto al acceso y uso de Internet que presenta el país en los últimos años, pero, si embargo se debe realizar un análisis por regiones; evidentemente el sector urbano estará mucho mejor abastecido en infraestructura que el área rural. En cuanto al precio que representa, para el sector urbano aún se lo considera algo caro, desde luego, que para el sector rural es mucho más costoso [33].

Por encima del notable incremento en cuanto al acceso a internet, todavía hay escuelas educativas situadas en poblados rurales que no cuentan con conectividad de internet; tal es el caso de la escuela Pedro Cornelio Drouet, ubicada en la parroquia de Tachina de la ciudad de Esmeraldas, donde varios de sus alumnos se ven en la obligación de realizar esfuerzos físicos, escalando árboles, comprometiendo su integridad física, para conseguir algo de cobertura.

En consecuencia, el gobierno ecuatoriano ha realizado muchos esfuerzos para mejorar la calidad de vida de cada ciudadano, asumiendo así la conexión a Internet y mejorando la calidad de vida de las personas.

El progreso tecnológico de cualquier país está ligado al crecimiento significativo de sus instituciones, los gobiernos y las empresas en general deben cumplir con los requerimientos de conectividad de la población.

Cuando llegó el virus del COVID-19, afectó especialmente a los establecimientos educativos, en particular a las ubicadas en áreas rurales. El problema inmediato es la falta de infraestructura y capacidad del sistema satelital CNT EP, que no ha atendido de manera completa, rápida y efectiva la creciente y continua demanda de servicios de Internet en las zonas rurales, lo que constituye un entorpecimiento para la ejecución de los acuerdos ministeriales.

El objetivo principal de este proyecto de fin de carrera es, diseñar un sistema de comunicación unidireccional vía satélite para difusión de datos, con un alta eficiencia de red, que atienda la capacidad de los equipos conectados a ella, reduciendo así la demanda de servicios de Internet en esta institución educativa, satisfaciendo así con las tres estrategia de Ecuador Digital establecidas en los distintos ejes del Acuerdo Nacional 2030 [34].

1.2. Justificación.

Este proyecto de investigación ofrecer una opción real y práctica para la conectividad y comunicación, a través del análisis y el diseño de una red satelital para la comunidad de Tachina, se realiza para que las personas y más específicamente la unidad educativa, Pedro Cornelio Drouet, pueda gozar del acceso al servicio de Internet, ya que hoy por hoy no cuentan con ello. Los beneficios que ofrecería el diseño de este sistema serían incalculables, podría equipararse a preguntarse cuáles son los beneficios de una biblioteca o una oficina de correo. Considerando los problemas evidentes de países menos desarrollados como Ecuador, debido a su ubicación geográfica existen muchas zonas rurales de difícil acceso, creando situaciones donde las instituciones educativas enfrentan algunas limitaciones en cuanto a conectividad y acceso a Internet; provocando diversos inconvenientes a los alumnos, maestros y personal administrativo, lo que impide que puedan realizar diferentes actividades y tareas académicas.

Señalando esta problemática, la propuesta de elaboración del diseño y estudio de factibilidad de este proyecto, brinda una solución basada en una conexión satelital unidireccional con antena VSAT para ofrecer servicios de Internet a los estudiantes.

Por consiguiente , la elaboración de este proyecto para brindar conexión satelital con tecnología VSAT para instituciones educativas, se considera como una posible solución

para el desarrollo de la comunidad de Tachina, para que las personas de esta zona tengan la oportunidad de desarrollarse y mejorar.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General.

Analizar y diseñar un sistema de comunicacion unidireccional vía satélite para la difusión de datos en la escuela rural Pedro Cornelio Drouet, para dar una alternativa tecnológica de acceso a internet.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Determinar las condiciones previa que hay que tener en cuenta para el dimesnionamiento de una red de comunicaciones por satélite.
- Conocer los proyectos existentes de educación por satélite desarrollados hasta la actualidad en el Ecuador.
- Calcular y analizar el presupuesto total del sistema.
- Diseñar el sistema que cumple los requerimientos propuestos.

Capítulo 2

Fundamento teórico.

2.1. Comunicación por Satélite.

El surgimiento de nuevas tecnologías se produce de forma secuencial junto con las necesidades de información de la sociedad. Hoy en día, la unificación de todo tipo de servicios se realiza a través de una red de comunicación global a la que los usuarios pueden acceder desde cualquier lugar sin necesidad de conectarse a una red fija. La necesidad de los usuarios crecen y se vuelven más compleja. Para ello, es necesario actualizar las tecnologías de banda ancha terrestre, móvil y satelital con sistemas que garanticen el acceso a todo tipo de servicios desde cualquier lugar [35].

2.1.1. Comunicación

La palabra comunicación proviene de la palabra latín “Communicare”, que significa compartir algo, por lo tanto puede ser definida como un fenómeno inherente a la relación que sostiene los organismos mientras están juntos. A través de la comunicación, los humanos o los animales obtienen información sobre su entorno y pueden compartir esa información con sus congéneres [36].

La comunicación es el proceso de transmisión de señales, bien sean sonidos, gestos, signos, etc. Para transmitir un mensaje con éxito, el receptor debe tener las habilidades necesarias para decodificar y asimilar el mensaje proveniente del emisor. La comunicación luego invierte sus roles a medida que el receptor reacciona y se vuelve nuevo el remitente hace que el remitente original sea el receptor [36].

Entre los factores que intervienen en el proceso de comunicación están:

- **Emisor:** Es quien inicia el proceso comunicativo y se encarga de emitir un mensaje para que este llegue a un receptor.
- **Mensaje:** Es la información que el emisor intenta hacer llegar al receptor.
- **Canal:** Es la vía a través de la cual el mensaje es emitido. Los canales pueden ser diferentes como, por ejemplo, los medios de comunicación, la Internet, el teléfono, entre otros.

- **Código:** Son los elementos y reglas que comparten tanto el emisor como el receptor y que hacen posible la comprensión del mensaje.
- **Receptor:** Es la persona a quien se le destina un mensaje. Si este logra comprender de forma fácil la información, entonces se puede decir que la comunicación ha sido exitosa.

2.1.2. Comunicación Satélital.

Esto se define como el uso de tecnología espacial avanzada que utiliza microondas y frecuencias de radio para recibir y transmitir información para una variedad de propósitos. Hay diferentes tipos de satélites: científicos, meteorológicos, marinos, militares, etc. Los satélites de comunicación son un medio ideal para transmitir señales de radio en áreas subdesarrolladas y de difícil acceso, ya que pueden usarse como estaciones repetidoras suspendidas en el cielo. Debido que no hay un obstáculo directo, la línea de vista no es un inconveniente, utilizando frecuencias elevadas en el rango de los GHz que son las que tienen mayor inmunidad a interferencias; también poseen una gran direccionalidad, las ondas a estas frecuencias permiten llegar a cubrir zonas concretas de la Tierra. La primera emisión de televisión vía satélite tuvo lugar en 1964 [36].

2.1.3. Beneficios de las comunicaciones por Satélite.

- **Universal:** Se puede acceder desde cualquier lugar del planeta.
- **Versátil:** Diseñados para poder soportar distintas maneras de comunicación que hoy en día se requieren en día.
- **Confiable:** Es un medio probado para apoyar a la empresa de comunicaciones ya que ofrece una disponibilidad alta de los servicios.
- **Continuo:** Con operabilidad de 24 horas los 7 días de la semana durante todo el año, a excepción que exista alguna falla física o lógica que genere suspensión del servicio.
- **Rápido:** Los sistemas satelitales se pueden instalar de forma rápida y económica, en miles de redes ubicaciones dentro de su área de cobertura.
- **Escalable:** Los satélites permiten un rápido crecimiento de las redes de comunicaciones gracias a su gran ancho de banda.
- **Flexible:** Los satélites pueden ser integrados de forma sencilla para su adición, expansión ampliar cualquier tipo red de comunicación.

2.2. Elementos de enlaces satelitales.

2.2.1. Transponder.

El transponder tiene como función principal amplificar la señal que recibe de la estación terrena, cambiar la frecuencia y retransmitirla con una cobertura amplia a una o varias estaciones terrenas. [37].

2.2.2. Estaciones Terrenas.

Las estaciones terrestres de satélites son instalaciones basadas en la superficie que están diseñadas con intención de proporcionar una comunicación directa y en tiempo real con los satélites. Encargada de la administración de los canales de salida, codificación de la información y gestionar la rapidez de transferencia [37].

Consta de tres componentes:

- **Estación receptora:** Recoge toda la información proveniente en la estación emisora y retransmitida por el satélite.
- **Antena:** Tiene la misión percibir la radiación del satélite y concentrarla en un foco donde está ubicado el alimentador. Para aminorar interferencias y los ruidos en la mayor medida posible, la antena debe ser de buena calidad. [37].
- **Estación emisora:** constituida del transmisor y la antena de transmisora. La potencia emitida debe ser elevada, para garantizar que la señal del satélite sea fiable. La señal debe ser percibida por la antena receptora. [37].

2.3. Órbitas satelitales.

Las órbitas de los satélites se clasifican según la distancia que las separa de la Tierra. Esta característica determina el rendimiento de cada satélite, así como la latencia y la pérdida de señal durante la transmisión de la información. Las diferencias entre las distintas órbitas se indican en la Tabla 2.1 [1].

El tipo de satélite que se utilizará para el diseño de la red satelital en la comunidad de Tachina, es un satélite que será localizado en la órbita GEO. Por las características que brinda, como se vio en la Tabla 2.1.

2.4. Definición de redes VSAT.

Los sistemas VSAT (Terminal de Apertura Muy Pequeña) son redes de comunicación por satélite que permiten establecer enlaces entre un gran número de estaciones remotas con antenas de pequeño tamaño (menores de 2.5 metros de diámetro, típicamente de 0.8, 1, 1.2), de ahí el nombre, con una estación central conocida normalmente como Hub. La comunicación suele darse siempre en el mismo sentido, desde el Hub

Cuadro 2.1: Órbitas satelitales [1].

ÓRBITAS	DISTANCIA(km)	PERIODO	VIDA (años)	REPARTO	COBERTURA
LEO	200-2000	1-2hRS	3 A 7	Corto	Corta
MEO	10000-20000	6Hrs	10 a 15	Medio	Media
GEO	35786	23Hrs 56min 4s	10 a 15 Alto	Alto	Todo el tiempo
ÓRBITAS	Complejidad de la Red	Pérdidas de Propagación	Servicios		
LEO	Compleja	Baja	Imágenes		
MEO	Meianamente compleja		GPS		
GEO	Simple	Alta	Voz, datos Internet		

hacia los terminales VSAT, aunque también existe la posibilidad de hacerse en sentido contrario. En este tipo de comunicaciones el satélite hace de repetidor. Las bandas de frecuencia más utilizadas son las bandas C, Ku y Ka, que son más susceptibles a las condiciones meteorológicas cuanto mayor es la frecuencia de la portadora [38].

El Hub y los terminales VSAT formarán el segmento terreno. El Hub es la estación central de una red VSAT y tan solo es una estación más dentro de la red pero más grande, de hecho la antena es del orden de 15 metros de diámetro y maneja valores mayores de potencia de transmisión [38].

Como se aprecia en la Fig. 2.1, las redes VSAT permiten enlazar puntos remotos a través de satélites comerciales situados en el anillo geostacionario. Dada su gran flexibilidad se adaptan a las necesidades específicas de cada usuario permitiendo conexiones punto-punto o punto-multipunto, ofreciendo interfaces inteligentes a protocolos terrestres existentes y servicios de valor añadido al usuario.

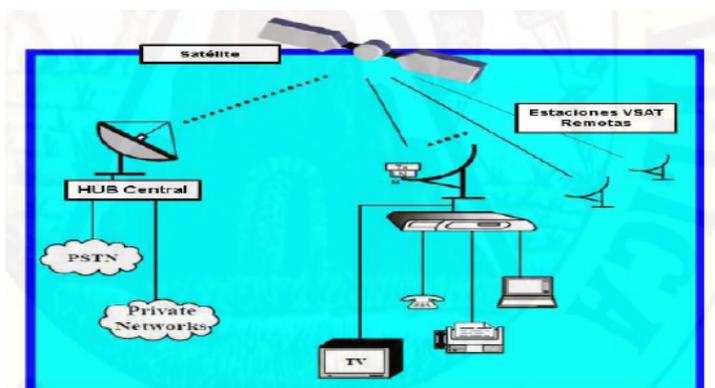


Figura 2.1: Red VSAT [1].

En el presente se puede encontrar una variante más desarrollada que las VSAT, las USAT (Ultra Small Aperture Terminal) son terminales de menos de un metro de

diámetro (pudiendo llegar hasta 55 cm) teniendo una tecnología altamente integrada para facilitar el acceso a bajo costo a la red VSAT. Las USAT operan en redes con topología en estrella [39].

Este tipo de tecnología es posible la conexión de cientos de estaciones remotas a una estación HUB sin mayor restricción que la capacidad de almacenamiento y de procesamiento de la estación HUB, la ventaja de las redes VSAT es que siempre que las estaciones estén dentro del área de cobertura de el satélite, la distancia no es un razón, por la cual se debe preocupar. Debido a que cada una de las estaciones remotas tienen la misma capacidad para conectarse a la estación central. [39].

2.5. Bandas de frecuencia y cobertura.

Para que las estaciones terrestres y el satélite puedan comunicarse, será necesario disponer de algunas bandas del espectro radioeléctrico, la misma que son establecida por el plan de frecuencia de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Se ha establecido que se usen las bandas de frecuencia [40]:

- Banda C o banda Ku para aplicaciones civiles.
- Banda X para aplicaciones militares.
- Banda Ka para sistemas experimentales.

La Tabla 2.2, muestra las bandas de frecuencias utilizadas tanto en la recepción como en la transmisión por el hub y los VSAT [13]:

Cuadro 2.2: *Bandas de frecuencias tecnología satélital [13].*

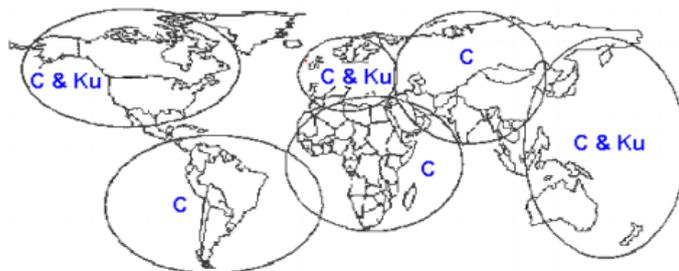
Banda	Rango
Banda P	200 -400Mhz
Banda L	1530-2700Mhz
Banda S	2700-3500Mhz
	3700-4200Mhz
Banda C	4400-4700MhZ
	5725-6425Mhz
Banda X	7900-8400Mhz
Banda KU1 (PSS)	10,7-11,75Ghz
Banda Ku2 (DBS)	11,75-12,5Ghz
Banda Ku3 (Banda Telecom)	12,5-12,75Ghz
Banda Ka	17,7-21,2Ghz
Banda K	27,5-31,0Ghz

- La banda C, que no se usa mucho en la actualidad, fue la primera en considerarse comercialmente en la mayor medida. Esta banda representa la influencia más alta del mundo, lo que lo hace difícil. Los enlaces de microondas son particularmente bienvenidos ya que funcionan en el mismo rango de frecuencia.
- La banda Ku, la más utilizada actualmente, es usada desde hace muchos años y se generalizó con la aparición de las VSATs. El rango de frecuencia de la banda Ku permite alcanzar alta eficiencia, lo cual puede llegar a mantener niveles de disponibilidad superiores al 99.5 %. Asimismo, su uso permite utilizar equipamiento pequeño, por ejemplo, antenas satelitales de 74 cm, lo que hace que se reduzca su complejidad y costo logístico así como la instalación de los servicios.
- La banda Ka, está surgiendo como una nueva opción para ofrecer servicios multimedia de banda ancha, además de poseer la interferencia de la lluvia, utiliza un amplio rango de frecuencias. Debido a esta razón, los equipos utilizados para esta banda suelen tener un elevado costo, con un complejo desarrollo ya que pequeñas capacitancias parasitas influyen el circuito severamente.

2.6. Cobertura

La elección de una frecuencia u otra depende de la cobertura del satélite en una determinada zona en la que se quiera implantar la red VSAT, ya que diferentes frecuencias poseen diferentes coberturas como se indica en la Fig. 2.2 [2].

Figura 2.2: Distribución de bandas de frecuencia y Cobertura [2].



2.6.1. Satélite autorizado por la Arcote en banda Ku.

En la Tabla 2.4, se incluye una lista de Satélite de banda Ku autorizados por la Agencia Reguladora de Telecomunicaciones de Ecuador (ARCORTEL).

Cuadro 2.3: *Satélites autorizado por la ARCOTEL [14].*

No.	REPRESENTANTE LEGAL	EMPRESA PRESTADORA DEL SERVICIO	DATOS DEL SATÉLITE O RED satélital		
			NOMBRE DEL SATÉLITE O RED satélital	POSICIÓN ORBITAL	RANGO DE FRECUENCIAS (MHz)
1	GPASEORES S.A.(Michael Veintimilla)	HISPASAT S.A.	AMAZONAS 2	61°W	12750 - 13250
					13750 - 14500
					10700 - 11450
					11700 - 12200
					4650 - 4710
					6725 - 7025
			AMAZONAS 3	61°W	13750 - 14500
					10950 - 11200
					11700 - 12200
					12500 - 12750
					18300 - 20200
					28100 - 30000
			HISPASAT 74W-1	74° W	12200 - 12700
					17300 - 17800
			AMAZONAS 5	61°W	12200-12700
					17300-17800
					27000-30000
17700-20200					
11950-12200					
13750-14000					
HISPASAT 30W-5	30°W	11200 - 11450			
		11700 - 11950			
		12100 - 12200			
		13000 - 13250			
		13900 - 14250			
		4650 - 4710			
HISPASAT 30W-6	30°W	6725 - 7025			
		11950-12200			
		14250-14500			
HISPASAT 36W-1	36°W	11950-12200			
		14250-14500			

Cuadro 2.4: *Satélites autorizado por la ARCOTEL [14].*

2.7. Atmósfera Terrestre.

La atmósfera está formada por una mezcla de gases, principalmente nitrógeno, oxígeno, argón y dióxido de carbono. Alcanza más de 500 km sobre la superficie del planeta. El límite superior se estima alrededor de los 10.000 Km de altura desde la superficie terrestre, donde los gases atmosféricos se vuelven más delgados a medida que se asciende. Varios autores y científicos la sitúan este frontera entre los 30.000 y 40.0000 Km. Las principales capas de la atmosfera son [41]:

- **Troposfera:** Es la capa más cercana a la superficie de la Tierra. Tiene un espesor de 4 a 12 millas (7 a 20 km) y contiene la mitad de la atmósfera de la Tierra. El aire es más cálido cerca del suelo y se vuelve más frío. Casi todo el vapor de agua y el polvo en la atmósfera están en esta capa y es por eso que las nubes se encuentran aquí.
- **Estratósfera:** Es la segunda capa. Comienza por encima de la troposfera y termina a unos 50 km por encima del suelo. El ozono es abundante aquí y calienta la atmósfera mientras que también absorbe la radiación dañina del sol.
- **Mesosfera:** Comienza a 50 km y se extiende a 85 km de altura. La parte superior de la mesosfera, llamada mesopausa, es la parte más fría de la atmósfera terrestre, con temperaturas que promedian alrededor de 130 grados F (menos 90 C).

- **Termosfera:** Se extiende desde aproximadamente 90 km hasta los 500 y 1,000 km. Las temperaturas pueden alcanzar hasta 2,700 grados F (1,500 C) a esta altitud. Siendo la capa más alejada y extensa de la atmosfera.
- **Exisfera:** La capa más alta, es extremadamente delgada y es donde la atmósfera se fusiona con el espacio exterior. Está compuesto por partículas muy dispersas de hidrógeno y helio.

2.7.1. Transmisión de datos usando DBS-S.

Es un servicio que distribuye señales de audio, video o datos en un área grande y predeterminada, utilizando sistemas especialmente diseñados que permiten la recepción desde terminales de pequeño diámetro. Debido a su ubicación espacial privilegiada, los satélites son preferibles para la transmisión directa a los terminales de los usuarios, ya que esto asegura una comunicación instantánea en un área grande. Además, se puede lograr un alto rendimiento [16].

Además de las aplicaciones que se analizan en el siguiente capítulo, aplicaciones como DBS-S también han permitido la transmisión de datos, han facilitado el acceso a Internet o han creado redes privadas. Sin embargo, para que aplicaciones de este tipo sean posibles, se requiere un camino inverso que puede pasar por la red terrestre o por el propio satélite. Proporcionando una solución de bajo costo, para el acceso a Internet de banda ancha en cualquier lugar cubierto por un enlace satelital que brinde servicio DVB. Para permitir la transmisión de datos, el proyecto DVB ha publicado varias especificaciones en cuanto al método de transmisión de datos, en EN 301 192 P2, que define múltiples configuraciones para diseminar datos según los requisitos específicos de cada aplicación. Estos perfiles son: [16].

Data piping:

Este perfil permite la difusión de datos que requieren una transmisión asincrónica, extremo a extremo a través de las redes de difusión DVB. Los datos son llevados directamente en el "payload" de los paquetes MPEG-2 TS No existe ninguna relación temporal entre los datos y otro paquete PES (Program Elementary Stream)

Data streaming:

Este perfil es útil para la difusión de datos extremo a extremo pero orientado a un flujo (streaming-oriented) de una manera sea asincrónica (sin requerimientos de temporización), sincrónica (con requerimientos de sincronización) [16].

2.8. Tele-educación vía satélite en Ecuador.

La educación debe ser para cada nación unas de sus áreas de mayor fortaleza, debiendo ser formentada y canalizada mediante los gobiernos, con políticas perdurables a

los nombres de turnos [42]. Ahora, el acceso a los servicios de Internet se ha convertido en un recurso importante para todos, y más aún a raíz de la pandemia, época que ha puesto de manifiesto la necesidad y la clara importancia de este servicio para realizar una variedad de actividades, incluyendo trabajo, estudio y el acceso a la información. Es por eso que el gobierno de Ecuador y empresas privadas decidieron trabajar juntos para llevarlo a los lugares más remotos.

ASTERIA: satélites ecuatorianos para mejorar la educación en el aula

En septiembre del 2009 dio inicio un programa piloto llamado “Un satélite en el aula”, que resultó de la colaboración entre la Agencia Espacial Civil Ecuatoriana (EXA) y los alumnos de segundo grado (7 y 8 años) en la Academia Cotopaxi, en Quito. Esa iniciativa empezó una aventura en descubrir cómo alumnos del siglo XXI podrían aprovechar de una tecnología innovadora para mejorar su interés en las áreas más necesarias para nuestra época: ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas [43].

En este programa, los chicos aprendieron como bajar imágenes del clima, en tiempo real, usando satélites norteamericanos NOAA y la estación terrestre de EXA, llamado MINOTAURO. Usando solamente una computadora, software gratis del internet y el programa de EXA llamada HERMES-Delta, los alumnos aprendieron cómo incorporar la información conseguida a los objetivos curriculares del grado. Con un análisis crítico, los niños aprendieron sobre gráficos, temperatura, geografía, lectura, escritura y más [43].

Luego en agosto del 2012 empezó el segundo programa piloto con EXA, llamada ASTERIA, en lo cual tres colegios entraron en un acuerdo con EXA para desarrollar el uso educativo de los primeros satélites Ecuatorianos NEE-01 PEGASO (lanzado en abril 2013) y NEE-02 KRYSAOR (para lanzar al finales de 2013). Los tres colegios que entraron en este acuerdo fueron la Academia Cotopaxi (Quito, con alumnos de nueve y diez años, en cuarto grado), el Colegio Rosa de Jesús Cordero (Cuenca) y la Unidad Educativa Nuevo Mundo (Guayaquil). El objetivo de esta segunda etapa era la de desarrollar una pedagogía que los docentes pudieran utilizar en sus propias aulas, implementando una educación auténtica para sus propios alumnos [43].

HISPASAT colabora con el gobierno de Ecuador en el cierre de su brecha digital con dos proyectos piloto de teleeducación y telemedicina vía satélite.

HISPASAT, el operador español de telecomunicaciones por satélite del Grupo Red Eléctrica, ha entregado al gobierno de Ecuador dos proyectos piloto de teleeducación y telemedicina vía satélite en zonas remotas para contribuir al cierre de la brecha digital en el país. Esta colaboración llevada a cabo durante los últimos meses con el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, el Ministerio de Educación,

el Ministerio de Salud Pública [44].

En concreto, el proyecto piloto de teleeducación beneficiará a más de 400 estudiantes de las escuelas Rómulo Delgado (provincia de Carchi), Andrés Mamallacta y CECIB San Luis (provincia de Orellana), Escuela 16 de agosto (provincia de Morona Santiago) y Unidad Educativa Jaime Elliot (provincia de Napo), todas ellas ubicadas en zonas remotas sin ningún tipo de conectividad. Gracias a esta colaboración, HIS-PASAT donará a estas escuelas un servicio de Internet vía satélite con un sistema de teleeducación que permite almacenar localmente los contenidos educativos facilitados por el Ministerio de Educación [44].

2.9. Aplicaciones.

Para la comunicación inalámbrica, los satélites son la tecnología central para la infraestructura de comunicación global, se utilizan en muchas aplicaciones importantes de la vida moderna cotidiana, como la telefonía inalámbrica, la seguridad en caso de desastres naturales, la vigilancia militar, la exploración de la tierra y el espacio, el sistema de posicionamiento global (GPS), etc [45]. Universalmente, las aplicaciones de la red VSAT están divididas en dos grupos, considerando la dirección en que se mueve la información en la red, siendo: unidireccionales y bidireccionales [39].

Aplicaciones unidireccionales:

- Tele-educación.
- Transmisión de datos de las Bolsas de Valores.
- Información y promoción.
- Transmisión de noticias (teleimpresión, transmisión de fotografías y otros).
- Acceso a bases de datos multimedia.
- Telemonitorización.
- Hilo musical (canales de audio programados).
- Transmisión de datos de una red de comercios.
- Distribución de tendencias financieras y análisis.
- Videoconferencia de alta y baja calidad.
- Difusión comercial y televenta.
- Gestión de almacenes.

Aplicaciones bidireccionales:

- Redes interactivas de datos para aplicaciones financieras.
- Telefonía
- Telenseñanza.
- Redes de servicios públicos como: gas, agua, electricidad, etc.
- Puntos de venta (control de existencias, autorización y verificación de crédito y cheques, índice de ventas y tendencias de compra, etc.). item Telemetría y telecontrol de procesos distribuidos.
- Sistemas de reservaciones (hoteles, alquiler de autos, aerolíneas etc.).
- Consulta a bases de datos interactivos.
- Transacciones bancarias y control de tarjetas de crédito.
- Servicios de emergencia.

Capítulo 3

Metodología.

3.1. Tipo de investigación.

Este proyecto se focaliza en el desarrollo de un sistema de comunicación unidireccional, para permitir la difusión de datos en lugares remotos, por ejemplo, en los casos en que las instituciones educativas o las comunidades rurales no gozan del acceso a este servicio. Para desarrollar este estudio, se empleará el uso de información bibliográfica y descriptiva, lo que permitirá describir a la sociedad a través de la investigación.

3.2. Métodos de la investigación.

El proyecto de investigación se enfocará fundamentalmente en aspectos documentales o de información secundaria, puesto que la información se puede localizar en contenidos en libros, revistas, publicaciones, manuales, Internet, estadísticas, etc.

También está respaldado por investigaciones científicas, mediante revisiones sistemáticas de artículos científicos en el campo de la tecnología satelital, así como reseñas detalladas de investigaciones científicas. Además de utilizar estadísticas descriptivas, que proporcionan datos y métricas que respalden y/o justifiquen el estudio de caso.

3.2.1. Técnicas de recolección de datos primarios y secundarios.

- **Primaria:** La recolección de información relevante para este proyecto se la obtuvo de primera mano, mediante sondeos y entrevista. Gracias a estas técnicas se obtienen datos cualitativos específicos y altamente auténticos y precisos.
- **Secundaria:** Como se mencionó anteriormente, la información recolectada no solo se obtiene a través de entrevista o encuesta, también es proporcionada por informes de gobierno, comunicaciones de prensas, revistas científicas e internet.

3.3. Escenario de prueba.

Este trabajo de tesis se centra en realizar el modelado, diseño y simulación de una red de comunicación satelital GEO en tiempo real, examinada y aprendida la tecnología VSAT, como sus aspectos y características mas importantes dentro de los sistemas satelitales geoestacionarios, se determinará las expresiones matemáticas imprescindible para poder calcular; los parámetros de QoS, ancho de banda, cálculos del enlace, parámetros orbitales, cobertura, entre otros.

El diagrama a emplear es una conexión punto a punto que se muestra en la Fig. 3.1, con topología en estrella, la antena que recogerá toda la información proveniente del satélites, es una ante de tipo offset; esta clase de antena posee un tamaño relativamente pequeño, ésta característica le permite ofrecer un buen rendimiento. La banda de frecuencia a usar en el enlace corresponde a la banda seleccionada, la cual pertenece a la banda Ku [12 GHz - 18GHz] [3], de acuerdo a la zonas de cobertura vista anteriormente.

Posteriormente se encuentra el equipo del usuario, en otras palabras, la red local que estará conectado a un módem satelital que traduce la información proveniente de la antena.

Para finalizar, se utilizará la plataforma de programación de Matlab que posibilita realizar de modo económico, rápida, sencilla y simulaciones profesionales que ayudarán evaluar y cuantificar la calidad del enlace.

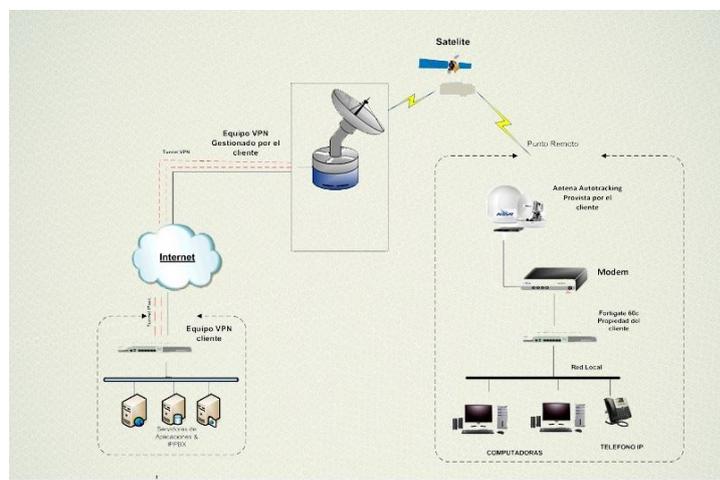


Figura 3.1: Enlace satelital punto a punto [3].

En la Fig. 3.2 se presenta las etapas que guiarán la realización del proyecto.

- *Etapas I Recolección de información.*

Realizar un estudio bibliográfico de los diferentes trabajos realizado, vinculados con redes satelitales, con el fin de seleccionar información necesaria para documentar y diferenciar los componentes que contiene esta solución con el propósito de obtener los conocimientos necesarios para lograr los objetivos planteados.

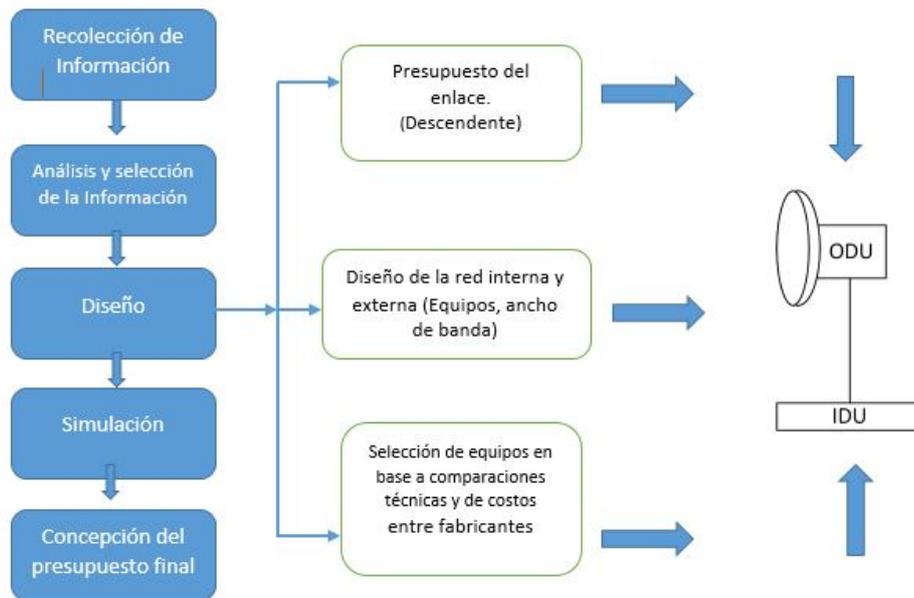


Figura 3.2: Diagrama de bloques de las etapas de desarrollo del proyecto.

- Tras la fase anterior, se empezará con el análisis la información recogida de diversas fuentes para seleccionar la información más útil y relevante para el proyecto. El tráfico que se transportará por el enlace satelital se calculará para determinar el ancho de banda requerido, con el cual se podrá contratar un proveedor de servicio de Internet satelital.

- *Etapa III - Diseño.*

Eventualmente se hará el Link Budget, es decir, el presupuesto del enlace. El cual se calcula utilizando ecuaciones matemáticas para determinar la factibilidad del enlace teniendo en cuenta los parámetros y criterios de conformidad con los estándares establecidos para el diseño. Por otro lado, los diferentes proveedores de Internet satelital serán evaluados conjuntamente para seleccionar el mejor plan de datos posible.

- *Etapa IV - Simulación.* Con herramientas como Matlab y Cisco Packet Trace se efectuarán simulaciones para verificar la factibilidad del enlace y el rendimiento de la red local.
- *Etapa V – Documentación final.*

Finalmente se redactará el escrito del informe final, donde quedará consignado los diseños de cada una de las partes que componen el enlace satelital.

3.4. Hipótesis y operacionalización de variables.

Gran parte de esta tesis, es demostrar que el acceso y el servicios de Internet pueden estar disponibles para las comunidades rurales en áreas remotas o en áreas en desarrollo de países en desarrollo a través de aplicaciones en tiempo real que garanticen la calidad del servicio.

3.4.1. Hipótesis de investigación H_i .

La unidad educativa Pedro Cornelio Drouet, situada en la parroquia rural de Tachina del cantón de Esmeraldas, tiene más de 300 estudiantes que no pueden conectarse a sus clases virtuales debido a que no cuentan con dispositivos móviles o computadoras con acceso a internet en sus aulas.

Realizar el diseño de un enlace satélital, permitirá a los alumnos de la escuela Perdo Cornelio Drouet beneficiarse con el uso y el acceso del servicio de Internet, para que puedan desempeñan sus diferentes actividades académicas?

3.4.1.1. Hipótesis nula H_o .

No elaborar el diseño del enlace satélital, no permitirá a los alumnos de la escuela Perdo Cornelio Drouet, beneficiarse con el uso y el acceso del internet, y seguirán teniendo problemas para realizar las distintas actividades academicas.

3.4.1.2. Variable independiente.

Cantidad de dispositivos que soporta la red.

3.4.1.3. Variable dependiente.

Rendimiento de la red satélital.

3.4.1.4. operacionalización de variables.

Variable independiente			
Variable	Concepto	Indicadores	Técnica e Instrumento
Cantidad de dispositivos soportado por la red	Conjuntos de elementos conectados a la red.	Capacidad Tecnológica Medios Utilizados Equipos	Topología Seguimiento de estandares Estadísticas Observación
Variable dependiente			
Variable	Concepto	Indicadores	Técnica e Instrumento
Rendimiento de la Red	La capacidad que tiene una red para administrar la demanda de tráfico	Lactencia Velovidad Tasa de error	Equipos monitorizados Paquetes Computador Red

Cuadro 3.1: Operacionalidad de variables

3.4.1.5. Población y muestra.

■ Población.

La población del proyecto, es el número de dispositivos que se pondrán conectar al mismo tiempo a la red, para ello se realiza una estimación del total de dispositivo considerando el números alumnos, maestros, trabajadores, maquinas de laboratorio de computación, maquinas de oficinas y dispositivo móviles. Según los registros de la Unidad Educativa Pedro Cornelio Drouet existen mas 400 estudiantes, pero esta claro que no todos ellos cuentan con teléfonos celulares, habría que realizar una entrevista o visita al Directo(a), para poderse acercar al valor real, pero por el momento se supondrá que solo el 40% de ellos tienen un celular, es decir, 120 dispositivos, mas la cantidad de la maquinas de laboratorio de computo que por lo común en este tipo escuelas rurales suele estar entre 15 a 20 maquinas, mas las demás maquinas que se encuentran distribuidas en los diferentes departamento, alrededor de 10. Finalmente los teléfonos de los maestros y trabajadores alrededor de unos 40 dispositivos. Sumando todos tenemos en total a 190 dispositivos, a cual se le aplicara el muestreo.

■ Muestra.

Mediante el muestreo aleatorio simple, que calculamos con la siguiente ecuación:

$$\frac{N * Z\alpha^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z\alpha^2 * p * q} \quad (3.1)$$

$$\frac{190 * 1,96 * 0,5 * 0,5}{0,05^2 * (190 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5} \quad (3.2)$$

$$\frac{93,1}{1,432} = 64,97 = 65 = n \quad (3.3)$$

Conociendo de antemano que n es al tamaño de muestra buscado, N el tamaño de la población, Z parámetro estadístico que depende el nivel de confianza y margen de error, p la probabilidad de éxito y q la probabilidad de fracaso. Procederemos con el cálculo de n

Redondeando en 65 dispositivos que se espera que estén siempre conectados, lo que permitirá hacer el análisis en del rendimiento de la red diseñada.

3.4.2. Sistema de recepción del enlace descendente.

En la Fig. 3.3 se puede ver el esquema de la red satélital a diseñar, con cada uno de los componentes para el enlace descentente. Los mismos que se describirán en este apartado.

Satélite.



Figura 3.3: *Diseño final de la red satelital.*

El satélite seleccionado para este proyecto es el Hispasat 36w – 1, que es uno de los cuales pertenece a la flota del grupo HISPASAT y está ubicado a 36° oeste (west), Hispasat en Ecuador garantiza la cobertura en todo el territorio nacional. Se trabajará en la banda Ku, la polarización a usar en la Estación Remota es Lineal Vertical. El Hispasat 36W-1 (Hispasat AG1) constituye la primera misión de la plataforma SmallGEO, desarrollada por OHB System AG (Alemania), con la Agencia Espacial Europea e HISPASAT [46].

Incorpora la innovadora carga útil regenerativa RedSAT, que permitirá a HISPASAT utilizar de manera más ágil y eficiente la potencia del satélite, aumentando sustancialmente la capacidad de transmisión con la consiguiente reducción del coste de las comunicaciones. El Hispasat 36W-1, fue lanzado en 2017 por ArianeSpace, construido por OHB System AG. Cuenta con 20 transpondedores en banda Ku y hasta 3 en banda Ka [46], además de una innovadora antena activa de haces reconfigurables.

Los transpondedores en banda Ku sirven principalmente para VSATs, televisión comercial y los segmentos de banda ancha de internet del mercado. En la Tabla 3.2 se detalla las características del satélite Hispasat 36w – 1, utilizado para este diseño. Estos parámetros fueron obtenido de la página oficia de HISPASAT en donde se proporcional datos necesario del satélite.

Estación Remota.

La estación remota está formada por:

- **Unidad Interna (IDU).**
- **Unidad Externa (ODU).**

Unidad interior IDU

Encargada de efectuar el procesamiento de la señal digital recibida a través del Outroute (portadora generada desde el sistema central) y la (o puerta para datos de usuario). Igualmente, realiza el procesamiento de la señal de los datos de usuario desde

Cuadro 3.2: Características técnicas del satélite Hispasat 36w - 1 [15]

Descripción	Hispasat 36w -1 (Hispasat AG1)
Posición orbital y coberturas	36 Oeste
Transpondedores	20 transpondedores en banda ku y capacidad adicional de 3 transpondedores en banda Ka
Antenas de comunicaciones (4)	Antena de recepción activa reconfigurable DRA ELSA (carga útil RedSAT) dos antenas reflectoras desplegables en banda Ku y una en banda Ka
Procesador a bordo	RedSAT
Masa neta	1.700 kg
Masa de lanzamiento	3.2 Toneladas
Potencia carga	> 3,4KW
Potencia disponible	6.0 kw
Tiempo de Vida	15 años
Fabricante	OHB System AG
PIRE	46dBW

las puerta preparándola para su transmisión a través del Inroute (portadora generada desde las estaciones remotas). La IDU que será utilizada es la HN7700S de HUGHES, mostrado en la Fig. 3.4.

HN7700S:



Figura 3.4: Modem Satelital hughesnet HN7700S [4].

El HN7700S, es parte de la familia HN7000S de Hughes, es un enrutador satelital de banda ancha de alto rendimiento, diseñado para ofrecer acceso de alta velocidad para grandes empresas, empresas medianas y pequeñas [4]. El HN7700S ha sido diseñado para soportar dos subredes LAN simultáneas y conectividad integrada en serie. Es la solución ideal para aplicaciones preexistentes a un entorno IP.

Aplicaciones.

- Acceso Internet/intranet de alta velocidad.
- Servicios de vídeo, incluyendo monitoreo de seguridad en sitio remoto.

- Entrenamiento y aprendizaje corporativo a distancia Trasmisiones de multimedia en tiempo real y distribución de contenido de archivos grandes.

Características.

- Soporta tráfico IP unicast y multicast.
- Actualizaciones de software y de configuración a través de descargas desde el NOC.
- Implementación de software autoconfigurable Performance Enhancement Proxy (PEP) para acelerar el rendimiento, mediante la optimización de la transmisión TCP a través del satélite, entregando una experiencia superior al usuario al mismo tiempo logrando eficiencia del enlace.
- Implementa software TurboPage para acelerar el tráfico HTTP para acceso de navegación más rápido.

Características de Calida de Servicio que incluyen:

- IQoS (Calidad de Servicio Entrante), DSCP bi-direccional y administración de ancho de banda saliente.
- Soporta el acelerador VPN de Hughes.
- Compresión bidireccional de datos.
- Configuración, seguimiento de estado y puesta en servicio a través del NOC.
- Actúa como un enrutador local, ofreciendo:
 - Direccionamiento estático y dinámico
 - Servidor o relay DHCP
 - Caching DNS – Pleno soporte de enrutamiento RIPV2 Multicasts a la LAN utilizando IGMP NAT/PAT
 - Etiquetado VLAN
 - Soporte de firewall a través de listas de control de acceso integrado.
- Rendimiento
 - Por lo menos 45 Mbps de tráfico multicast/ streaming, o
 - por lo menos 4 Mbps de tráfico FTP, o
 - por lo menos 2 Mbps de tráfico acelerado

Las especificaciones técnicas del Modem HN7700S se pueden ver en las tabla 3.3.

Cuadro 3.3: Especificaciones técnica del modem HN7700S [4].

Especificaciones Técnicas	
Interfases físicas	
Dos puertos 10/100BaseT Ethernet LAN RJ45.	
Un puerto serial RS-232.	
Un módem V.90 con interfaz RJ-11.	
Especificaciones satelitales y de la antena.	
Formato de transmisión saliente:	DVB-S, DVB-S2
Portadora saliente:	Hasta 121 Mbps (DVB-S2)
Portadora entrante:	Hasta 1.6 Mbps
Velocidad de símbolo (recepción):	1-45 Msps (en pasos de 1 sps)
Velocidad de símbolo (transmisión):	128, 256, 512, 1024 sps
Codificación (recepción):	DVB-S Convolutional con Reed Solomon concatenado, DVB-S2 LDPC
Codificación (transmisión):	Turbofec FEC Vs, 1/2 2/3 Y 4/5
Rango de frecuencias	Bandas C, C extendida, Ku y Ka
Modulación (recepción):	QPSK, 8PSK (DVB-S2)
Modulación (transmisión)	74 cm, 89 cm, 98 cm, 120 cm, 180 cm
Bit Error Rate (recepción):	10 ⁻¹⁰
Bit Error Rate (transmisión):	10 ⁻⁷
Antena:	74 cm, 89 cm, 98 cm, 120 cm, 180 cm
Radio:	1 y 2 vatios banda Ku, 2 vatios banda C 1, 2 y 3-1/2 vatios banda Ka
Aspectos mecánicos y ambientales	
Peso (IDU)	4.8 lbs (2.18 kg)
Tamaño (IDU):	Ancho 29.21 cm x Alto 4.7 cm x largo 27.94 cm
Temperatura de Separación:	
IDU	0C-+40° C
ODU	-30° C - +55° C
Suministro eléctrico	90-264 VAC, 50-60 Hz
Suministro de corriente continua	12-24 VDC

Unidad exterior ODU

LNB.

El LNB está ubicado un poco por debajo del centro o del punto focal de la antena parabólica, y tiene la función de adaptarse a la señal recibida del satélite (enlace descendente) y distribuir la señal a través del cable coaxial. Debido a que la frecuencia de la señal del satélite es muy alta, no se puede transmitir, la frecuencia se ajusta a nivel óptimo del cable coaxial.



Figura 3.5: LNB Single [5].

En la Fig. 3.4 se presenta el LNB que se ha escogido para este trabajo, es un LNB single es decir de una sola salida, ideal para el diseño, ya que se adapta con facilidad. El cual se distingue por su elevada estabilidad en sus osciladores locales, baja figura de ruido y bajo consumo de corriente, que garantiza una alta calidad en la recepción de la señal digital proveniente del satélite. Su instalación es hacia un sólo receptor. Este tipo de LNB presentan una baja figura de ruido y un reducido ruido de fase. Es el más habitual en instalaciones domésticas e individuales. En el cuadro 3.4 se muestra los parámetros del LNB a utilizar.

Cuadro 3.4: Especificaciones técnicas del LNB [5].

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Frecuencia de Entrada	10.70 - 11.70 GHz banda baja 11.70 - 12.75 GHz banda alta
Frecuencia de Salida	950 - 1950 MHz banda baja 1100 - 2150 MHz banda alta
Figura de Ruido	0.3 - 0.7 dB banda baja 0.3 - 0.7 dB banda alta max @ 25 °C
Ganancia	60 dB
Frecuencia del Oscilador Local	9.75 GHz banda baja 10.60 GHz banda alta
Selección Vertical	11.4 - 14.0 Volts
Selección Horizontal	16.0 - 19.0 Volts
Consumo de Corriente	120 mA max
Conector de Salida	Tipo
Peso	125 gr

Antena.

Puede ser de diámetros diferentes dependiendo del cálculo de enlace y la banda de frecuencia utilizada, se ha escogido una antena con una dimensión de diámetro de 1.2

metros, en la Fig. 3.6 se indica el modelo de la antena multicom 1.2 metros, Direct-To-Home (DTH) antena parabólica que brinda recepción fuerte y clara. Este plato de alta calidad está diseñado para soportar vientos fuertes, minimizar el desvanecimiento por lluvia y mejorar la intensidad de la señal. Fabricado con acero de alta resistencia galvanizado, que es fácil de montar e instalar, por lo que es una excelente opción para las instalaciones rentables.



Figura 3.6: Antena parabólica de 1.2 metros [6].

En la tabla 3.5 se muestra características de frecuencia y ganancia de la antena Multicom.

Cuadro 3.5: Parámetros de la antena MUL -1.2-KU [6].

PARÁMETROS	
Modelo	MUL-1.2M-KU - 1,2 Meter (DTH)
Espesor	0.6mm
Ganancia de banda Ku	43 dBi (min) @ 12,5 GHz
Relación f/d	0.60
Eficiencia	80 % (min)
Rango de frecuencia	10.7 - 12.75 GHz
Distancia de enfoque	540mm
Material	De bajo peso, alta resistencia de acero galvanizado
Superficie	polvo de poliéster recubierto
Titular de la LNB	40mm
Modelos de montaje	montaje en pared / suelo / techo universal
Angulo de elevación	0 - 90°
Max. Operativa velocidad de viento de	montaje en pared / suelo / techo universal 90km/h
Temperatura ambiente	-40 ° C a + 60 ° C
Humedad Relativa	0 % - 100 %
Diseño de tunel de viento probado	Si
Niebla salina prueba acabado	Si
durabilidad UV probadoacabado	Si

3.5. Análisis para el diseño del sistemas VSAT.

Habiendo comprendido cómo funcionan las comunicaciones por satélite, su tecnología de transmisión, su uso de frecuencias, la cobertura que brindan, sus ventajas y desventajas. Se debe realizar un análisis preliminar de variantes del escenario, para dar solución a la falta de acceso a internet de la escuela, a continuación se presenta las principales consideraciones para diseñar el sistemas VSAT propuesto:

Topología de red lógica: Como se observa en la Fig. 3.7, se muestra que el enlace se puede configurar de modo que sea punto a punto, esto permite crear un canal directo con la posibilidad de realizar envíos rápidos de grandes volúmenes de información en tiempo real, ideal para el tipo de servicio que se requiere, una red con varios usuarios y que con un solo enlace tener la capacidad de prestar soporte a cuantos equipos soporte la red, de manera que sea confiable sobre todo rentable a la hora de tener un servicio de muy buena calidad para sacarle el mejor utilidad a las telecomunicaciones.

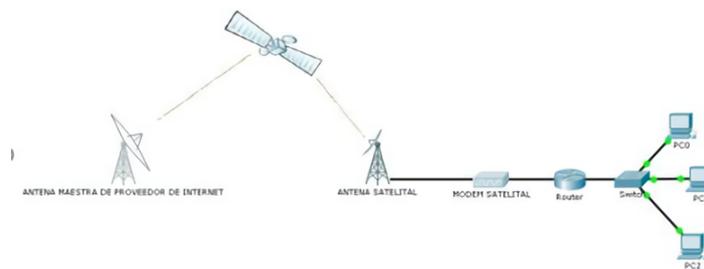


Figura 3.7: Topología de red.

Elección de la banda de frecuencia a usar: La Banda de frecuencia seleccionada es la banda Ku (11.7GHz -12.7GHz) vista en el capítulo anterior, son utilizadas para aplicaciones civiles, donde la elección de una frecuencia u otra depende de la disponibilidad de un satélite que cubra la zona donde va a instalarse la red y que disponga de la banda deseada.

Tráfico: El tráfico previsto para nuestra red está directamente ligado a la cantidad de dispositivo que se encuentre conectado, que son utilizados en periodos largo de tiempo y básicamente el servicio de datos para la navegación de internet por partes de los estudiantes. Por tal razón se estima un tráfico de servicio relativamente alto. y un ancho de banda de 36MHz

3.5.1. Métodos de Diseño.

Entre los métodos prácticos que son utilizados para realizar cálculos de enlace satelitales tenemos:

- C/N (Relación de Portadora a ruido)

- C/No (Relación de Portadora a Densidad Espectral de ruido)
- C/T (Relación de Portadora a Temperatura de ruido)
- Eb/No (Relación de Energía de Bit a Densidad Espectral de Ruido).

Cada uno de los métodos mencionado anteriormente nos garantizan resultados óptimos, por lo cual se desarrollará cada unos de ellos para tener certeza en los resultados obtenidos.

3.5.2. Tasa de Error de Bit.

La relación BER o probabilidad de error es el factor que muestra los errores en la transmisión. En un sistema con modulación digital se transmite un tren de datos formado por ceros 0 y unos 1. Al recuperar se pueden tener errores debido a ruido o degradación de la señal y se introducen una probabilidad de error.

$$BER = \frac{\text{numerodebiterrados}}{\text{numerodebitsrecibido}} \quad (3.4)$$

Cuando C/N se incrementa, la BER se reduce. Entonces para niveles de modulación elevados se requiere una mayor C/N para lograr la BER deseada. Pero sin embargo se logra mejor eficiencia espectral. Cuando la C/N es baja, la BER aumenta y será más difícil reconstruir la señal.

Otra de la forma para obtener el BER es mediante la relación de energía por bit a densidad de potencia de ruido, es tan sólo la relación de la energía de un solo bit a la potencia de ruido presente en 1 Hz de ancho de banda. Así, Eb/No normaliza todos los esquemas multifásicos de modulación a un ancho de banda común, permitiendo una comparación más sencilla y más exacta de su desempeño con errores [18].

El BER para la modulación 8-PSK se calcula en función de la Eb/No (Up, Down o Total):

$$BER = \frac{\left(\frac{\exp^{-Eb/Eo}}{1,85 \cdot \sqrt{(Eb/Eo)}} \right)}{2} \quad (3.5)$$

3.5.3. Presupuesto del Enlace.

A partir de ahora se procederá a describir los parámetros que se deben considerar para realizar un presupuesto de enlace satélital, en este apartado se desarrollará el cálculo y el diseño del enlace satélital teniendo presente cada unos de los parámetros que interfieren, como los que son:

1. Estación Terrena Maestra.
2. Repetidor (Satélite).

3. Estación Terrena Remota (VSAT).

Para realizar el diseño de un enlace satelital, se deben tomar ciertas consideraciones o factores que afectan directamente al enlace satelital a través del espacio libre, estos factores pueden ser internos o externos como los siguientes [7]:

- La distancia entre el satélite y los puntos a comunicar (perdidas por dispersión).
- La presencia de atmósfera en parte del trayecto de la señal (atenuación atmosférica).
- La presencia de lluvia para señales mayores a 10 Ghz (atenuación por lluvia).
- El ambiente de interferencias.

En la Fig. 3.8 [7], se puede apreciar como la existencia de otras señales provocan interferencias dentro de un medio de propagación, básicamente se refieren a la:

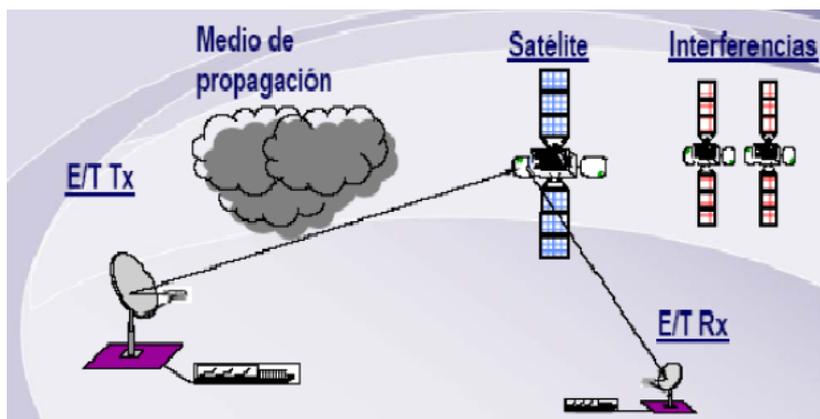


Figura 3.8: Factores de atenuación en el espacio libre [7].

- Relación de Interferencia por Satélite adyacente.
- Relación de Interferencia por polarización cruzada.
- Relación de Intermodulación.

3.5.3.1. C/N Relación de Portadora a ruido.

La relación señal a ruido establece el desempeño de la transmisión de la porción de radio frecuencia del sistema y está definido por el nivel de potencia de la portadora recibida comparado con el ruido a la entrada del receptor [16].

Por ejemplo, para el caso del enlace descendente (D/L downlink), satélite - estación

receptora , se tiene:

C = potencia recibida en dBW

k = Constante de Boltzman $1.38 \cdot 10^{-23}$ (joules por grado kelvin)

B = Ancho de banda del ruido (ó ancho de banda ocupado) en Hz

T = Temperatura absoluta del sistema de recepción en k.

El valor de C/N afecta directamente a la tasa de bits errados (BER) que se tenga en el punto de recepción, lo cual afecta directamente a la calidad de servicio.

3.5.3.2. Ecuacion del enlace.

La ecuación del enlace en su forma general está dada por [16]:

$$\frac{C}{N} = PIRE - L + G - 10\log(kTb) \quad (3.6)$$

Dónde:

PIRE = Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (dBW)

L = Pérdidas de transmisión (dB).

G = Ganancia de la antena receptora (dB).

En la ecuacion anterior el último término es la potencia del ruido del sistema receptor.

3.5.3.3. Potencia Isotrópica Radiada Equivalente.

Debido a la ganancia de las antenas parabólicas se tiene una potencia radiada isotrópicamente equivalente por una antena que es igual a la suma de potencia alimentada a la antena con la ganancia de la antena en (dBi) [16], tal como se muestra en la ecuación 3.7.

$$PIRE(dBW) = 10\log PT(dWB) + G(dBi) \quad (3.7)$$

Dónde:

PT = Potencia de entrada a la antena en Watts.

GT = Ganancia de la antena transmisora en dBi.

3.5.3.4. Ganancia de la antena.

La ecuación de una antena parabólica que se considera isotrópica viene dada por [16]:

$$G(dBi) = 10\log n + 20\log f + 20ld + 20,4dB(dWB) + G(dBi) \quad (3.8)$$

Dónde:

n = Eficiencia de la antena. Valores entre 0.55 y 0.75

d = frecuencia de operación en GHz

20.4= Constante de de $10\log(1*10)*\pi/c$

3.5.3.5. Pérdidas de transmisión.

Desafortunadamente en cualquier enlace satelital existen pérdidas de transmisión, tal como se muestran en la ecuación 3.9:

$$L = L_o + L_{atm} + L_{rain} + L_{track} \quad (3.9)$$

Dónde:

L_o = Pérdidas de espacio libre.

L_{atm} = Pérdidas atmosféricas.

L_{rain} = Atenuación debido a efectos de lluvias.

L_{track} = Pérdidas debidas a errores de seguimiento.

3.5.3.6. Pérdidas en el espacio libre.

Para el caso de un radiador isotrópico (que irradia en todas las direcciones por igual) que emite una potencia P_t que fluye a través de una esfera de área $A=4\pi d^2$ (siendo d la distancia entre el radiador y el punto de recepción), se tiene una densidad de flujo de potencia $P_t/4\pi d^2$ o potencia por unidad de área, la cual disminuye con el cuadrado de la distancia [16].

En el lado del receptor la potencia que se capta es una fracción de la potencia total radiada; que se corresponde con la fracción de la superficie de la esfera descrita por d que es interceptada por la antena receptora.

$$P_r = P_T \frac{A_e}{4\pi d^2} \quad (3.10)$$

Dónde:

P_r = Potencia recibida.

$A_e = A_i * \eta$ = área efectiva o apertura efectiva.

A_i = Área de intersección equipase.

η = Factor de eficiencia.

Como cada una de las antenas ya cuentan con ganancia, la antena transmisora G_t y la antena receptora G_r ; además el área efectiva de la antena A_e puede expresarse en función de la ganancia, el nivel de potencia en recepción sería:

$$P_r = C = \frac{G_t * P_t}{4\pi d^2} * A_e = \frac{pire}{4\pi d^2} * \left(\frac{G_r * \lambda^2}{4\pi}\right) \quad (3.11)$$

De la ecuación anterior 3.8 se conoce como pérdida de espacio Libre L_o a la expresión:

$$L_o = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (3.12)$$

Ó expresada en decibelio:

$$L_o = 20\log(D) + 20\log(f) + 92,5dB \quad (3.13)$$

Dónde:

D= distancia en Km entre el transmisor y el receptor

f= frecuencia en GHz.

$$92.5dB = 20\log[(4\pi * 10^9 * 10^3)/c]$$

3.5.3.7. Pérdidas atmosféricas.

Las pérdidas atmosféricas se pueden deber a la absorción de ciertos gases como el oxígeno y el vapor de agua. Otros factores que pueden influir en las pérdidas atmosféricas son: la frecuencia, el ángulo de elevación, la altura sobre el nivel del mar y la humedad absoluta [16]. Para frecuencias menores de 10 GHz el efecto de la absorción atmosférica puede ser omitido pudiendo alcanzar valores menores de 0.5 dB. En la tabla 3.6 se muestra algunos valores de pérdidas atmosféricas en función de la frecuencia.

Cuadro 3.6: Valores de atenuacion atmosférica [16].

Perdidas atmosfericas (dB)	Frecuencia en GHz
0.25	$2 < f < 5$
0.33	$5 < f < 10$
0.53	$10 < f < 13$
0.73	$f > 13$

3.5.3.8. Efectos de la lluvia.

La atenuación por lluvia se incrementa con la frecuencia, por consiguiente es peor para la banda Ku que para la banda C, La predicción de la atenuación por lluvia es un proceso estadístico. Es de resaltar que una adecuada predicción de la atenuación por lluvia es requerida para determinar la disponibilidad del enlace y establecer los márgenes apropiados de seguridad para el enlace.

La lluvia, además de causar los efectos de atenuación, ocasiona otras pérdidas como: aumento en la temperatura de ruido de las antenas receptoras y hace girar en cierta medida la polarización de las ondas [8], ocasionando interferencia en la polarización, interferencia en la polarización cruzada por transportación.

Aunque la atenuación causada por la lluvia puede despreciarse para frecuencias por debajo de 5 GHz, ésta debe incluirse en los cálculos de diseño a frecuencias superiores

donde su importancia aumenta rápidamente. La atenuación específica debida a la lluvia puede calcularse a partir de la Recomendación UIT–R838 [47]. La distribución de las Zonas climatológicas de Intensidad de lluvia en América pueden verse en la Fig. 3.9, junto con los porcentaje de de tiempo excedido en la Tabla 3.8. [8]. La atenuación específica $Y(\text{dB}/\text{km})$ se obtiene a partir de la intensidad de lluvia $R(\text{mm}/\text{h})$ [17], mediante la ley exponencial:

$$Y(\text{dBm}/\text{km}) = KR^\alpha \quad (3.14)$$

En la tabla 3.7 se encuentran los valores de coeficientes de regresión para estimar el valor de la atenuación específica [17].

Cuadro 3.7: *Coefficientes de regresión para estimar el valor de la atenuación específica [17].*

Frecuencia (GHz)	Polarización horizontal		Polarización vertical	
	k	α	k	α
6	0,00175	1,308	0,00155	1,265
8	0,00454	1,327	0,00395	1,31
10	0,0101	1,276	0,00887	1,264
20	0,0751	1,099	0,0691	1,065
30	0,187	1,021	0,167	1
40	0,35	0,939	0,31	0,929
60	0,707	0,826	0,642	0,824
100	1,12	0,743	1,06	0,744

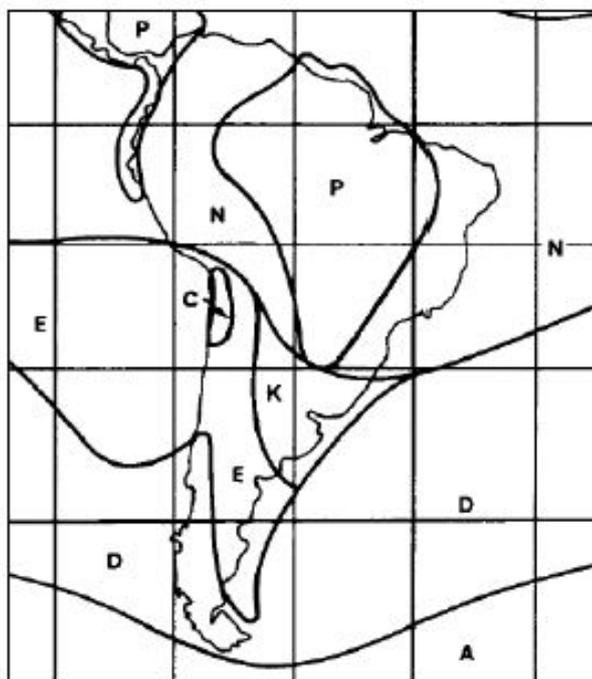


Figura 3.9: Zonas climatológicas de Intensidad de lluvia en América del Sur según la Rec. UIT-R P.837-1 [8].

Cuadro 3.8: Zonas hidrometeorológicas e intensidad de lluvia excedida en (MM/H) según la REC. UIT-R P.837-1 [8].

Porcentaje de tiempo (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1,0	>0,1	0,5	0,7	2,1	0,6	1,7	3	2	8	1,5	2	4	5	12	14
0,3	0,8	2	2,8	4,5	2,4	4,5	7	4	13	4,2	7	11	15	34	49
0,1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0,03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0,01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0,003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0,001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

3.5.3.9. Pérdidas de seguimiento.

La situación ideal en un enlace es que la antenas de transmisión en tierra esté alineada para máxima ganancia, pero la experiencia ha mostrado que existe un pequeño grado de desalineación causando disminución en la ganancia en unas décimas de dB. Estas pérdidas deben ser consideradas tanto para el enlace ascendente (U/L) como para el enlace descendente (D/L).

La tabla 3.9 muestra los valores de pérdidas seguimiento típicos:

3.5.3.10. Temperatura de Ruido del Sistema.

Dado que la potencia de señal recibida es muy pequeña, es beneficioso para el sistema reducir la Potencia de Ruido (PN) al máximo, existen diversas maneras de poder lograr este objetivo, eligiendo dispositivos que tengan características mínimas de temperatura, por ejemplo un receptor LNA con baja temperatura de ruido construido

Cuadro 3.9: Características de desempeño de estaciones terrenas (Banda Ku, eficiencia de la antena 60. Seguimiento manual requiere ajuste semanal de los ángulos de apuntamientos [16]).

Diámetro de la antena	Ganancia Gt	Ganancia Gr	Pérdidas UP (dB)	Pérdidas DL (Db)	Seguimiento Tracking
1.2	42.6	40.5	0.4	0.2	Fijo
1.8	46.1	44	0.7	0.5	Fijo
2.4	48.7	46.6	0.1	0,8	Fijo
3.7	52.5	50.3	1.2	0.9	Fijo
7	58	55.8	0,0.5	0,5	Mabual*
8	59.2	57	0,5	0,5	Seguimiento por pasapor paso

con transistores de bajo ruido (GaAsFET, HEMT), o en caso contrario elegir uno de alta ganancia para las primeras etapas.

La temperatura de ruido de una estación terrena se debe básicamente a la temperatura de ruido del receptor, a la temperatura de ruido de la antena, incluyendo el sistema de alimentación con las guías de ondas, además del ruido recogido por la antena desde el espacio.

Entonces la temperatura equivalente del sistema se la obtiene con la siguiente ecuación 3.15:

$$T_{sistema} = \left(\frac{T_{ant}}{L}\right) + \left(1 - \frac{1}{L}\right) * T_o + T_e \quad (3.15)$$

Dónde:

T_{ant} = temperatura de ruido de la antena (dato proporcionado por el fabricante)

L = Pérdidas de alimentación en valor numérico.

T_o = Temperatura estándar de 290 K (temperatura física de referencia de la tierra).

T_e = Temperatura de ruido equivalente del receptor (temperatura del LNB).

Temperatura de ruido de la antena.

La temperatura de ruido de la antena es una función compleja que depende del patrón de radiación de la antena, la temperatura equivalente de ruido de la atmósfera, la temperatura de ruido del sol, el ángulo de elevación de la antena, entre otros. Para conocer el valor de cada antena es recomendable recurrir a los datos proporcionados por el fabricante.

3.5.3.11. Figura de Mérito G/T.

La relación G/T determina el factor de calidad de la estación receptora, ya que contiene los parámetros más importantes de ella, y son un parámetro que afecta directamente en la relación final C/N del enlace. Se mide en dB a 1K, la relación G/T es de gran importancia en el momento de clasificar una estación dentro de un estandar [16].

$$G/T = G_{Rx} - 10 * \log(T_{sistema}) \quad (3.16)$$

Dónde:

G_{rx} = Ganancia de recepción en dB.

$T_{sistema}$ = Es la temperatura de ruido del sistema en K.

3.5.3.12. Relación Portadora a Ruido.

La relación portadora a ruido es un valor determinante en los enlaces satelitales ya que su valor afecta directamente a la calidad del servicio que se espera para determinada aplicación.

De la ecuación general del enlace se obtiene [16]:

$$\frac{C}{N} = PIRE - L + G - 10 \log k - 10 \log T - 10 \log B \quad (3.17)$$

Donde $G - 10 \log T$ representa la figura de mérito, entonces;

$$\frac{C}{N} = PIRE - L + G/T - 10 \log k - 10 \log B \quad (3.18)$$

Dónde:

L=Pérdidas de transmisión.

G/T = Figura de mérito del receptor.

k = Constante de Boltzmann.

B= Ancho de banda ocupado por la portadora.

Por lo general se acostumbra a usar la C/N_o que es la relación de señal a densidad de ruido, teniendo un valor normalizado a 1Hz.

$$\frac{C}{N_o} = PIRE - L + G/T - 10 \log k \quad (3.19)$$

Otra relación relevante es C/T la cual se puede obtener de la ecuación

$$\frac{C}{N} = C/T - 10 \log kB \quad (3.20)$$

Resultando:

$$C/T = PIRE - L + G/T \quad (3.21)$$

Con la relación C/N_o se puede realizar una comparación directa con la razón energía de bit recibida a densidad de ruido.

$$\frac{E_b}{N_o} = C/N_o - 10 * \log(\text{velocidadbinaria}) \quad (3.22)$$

Otro método para determinar la razón de energía de bit recibida a densidad de ruido en función al tipo de modulación, es observando los valores de la tabla 3.10.

Cuadro 3.10: Comparación de presencia de errores en diversos esquemas de modulación digital (BER 10^{-6} de probabilidad de error) [18].

Modulación	Relación C/N (dB)	Relación E b/N 0 (dB)
BPSK	10.6	10.6
QPSK	13.6	10.6
4-QAM	13.6	10.6
8-QAM	17.6	10.6
8-PSK	18.5	14
16-PSK	24.3	18.3
16-QAM	20.5	14.5
32-QAM	24.4	17.4
64-QAM	26.6	18.8

3.5.3.13. Ruido Térmico en el enlace descendente.

$$C/T_{down} = PIRE_{down} - L_{down} + G/T_{E/S} - m_{up} \quad (3.23)$$

Dónde:

PIRE_{Down} = PIRE descendente.

L_{Down} = Pérdidas por el trayecto en el descenso.

G/T_{E/S} = Figura de merito de la estación terrena.

m_{up} = margen descendente por errores de seguimiento y de lluvia.

3.5.4. Viabilidad del Enlace.

Si el nivel de la señal resultante es mucho mayor que la sensibilidad del receptor, entonces el enlace es viable.

Sin embargo, en un trayecto dado, la variación de pérdida en trayectoria en un período de tiempo puede ser grande, así que un cierto margen debe ser tomado en cuenta. Para permitir cierto espacio para la atenuación y la multitrayectoria en la señal de radio recibida, un margen de 10 a 25 dB debería ser bastante seguro. Es lo que se llama colchón técnico, ver Fig. 3.10.

$$Nrs > S + k \quad (3.24)$$

Dónde:

Nrs: Nivel de recepción de la señal.

S : Sensibilidad del receptor.

Si esta condición se cumple la señal que llega al receptor esta por encima de la sensibilidad y salto o tramo funciona.

Nrs: Nivel de recepción de la señal

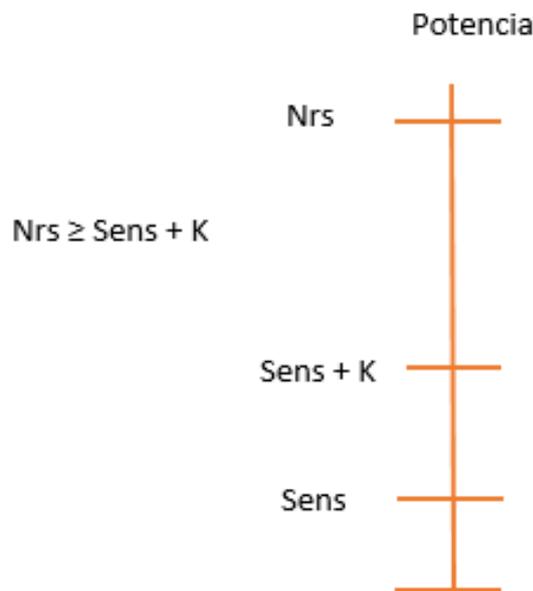


Figura 3.10: Margen de sensibilidad

3.5.5. Ancho de Banda utilizado por la Red.

Para determinar el ancho de banda que soportará la red del diseño VSAT, se considera requerimientos como: número de computadoras a los que se deben dar servicio de conectividad, velocidad mínima para el acceso outbound, factor de reuso permitido.

Se tendrá en cuenta la existencia de varios tipos de servicios de conectividad ofrecidos, como; audio, video, aplicaciones compartidas.

El ancho de banda se analizará únicamente para el enlace outbound. El satélite deberá ser evaluado para el caso más crítico donde todos los equipos conectados tengan acceso simultáneo, para asegurar la calidad del enlace en cualquier momento.

Para calcular la capacidad de canal necesario, son consideradas las aplicaciones que serán utilizadas y la capacidad requerida por cada una de ellas, mostrado en la Tabla 3.11, el número de usuarios simultáneos que se conectarán a la red y el porcentaje de uso de cada aplicación.

Cuadro 3.11: *Ancho de banda promedio requerido por usuario [9].*

Servicio	Capacidad requerida
Correo electrónico	40 Kbps
Navegación Web	200 Kbps
Transferencia de archivos	340 Kbps
Mensajería instantánea	2 Kbps
Audio	48 kbps
Video bajo demanda 256 Kbps	256 Kbps
Aplicaciones compartidas	300 kbps
Reserva	175 kbps
TOTAL	1361 Kbps

El porcentaje de uso de las aplicaciones depende del patrón de uso que los estudiantes dan a la red, estos datos se obtienen a partir de estimaciones de datos estadísticos en instituciones educativas pública, presentado en la figura 3.11 [9], se trabajara con un promedio de 18.9 %.

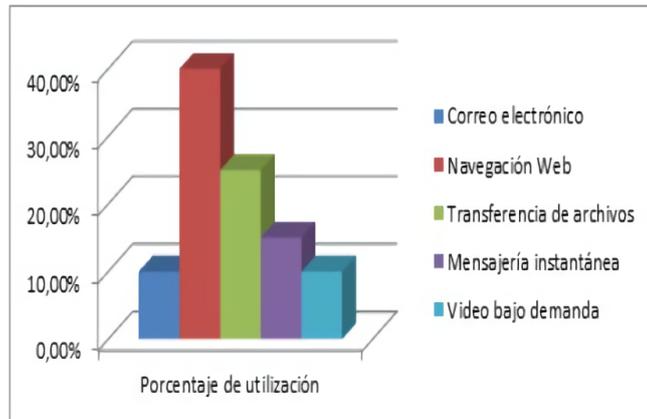


Figura 3.11: Porcentaje de utilización de las aplicaciones [9].

Otro factor importante a considerar es el número de usuarios simultáneos que utilizarán la red, este valor depende de la fase de su hora de clases, lo mismo que se pueden ver en la Tabla 3.12, puesto que durante los primeros minutos se dedican a entregar tareas, revisar correo, etc. Para los cálculos se utilizará el promedio, 20 %, que es el valor estandar de simultaneidad para zonas rurales.

Cuadro 3.12: Porcentaje de utilización por intervalo de tiempo [9].

Intervalo de tiempo (min)	% de Utilización
0-10	100
10 -30	60
30 - 80	30
20 - 90	50

Una vez determinados los valores necesarios, se puede calcular el número de usuarios simultáneos en base a:

$$U_s = U_t * (\text{simultaneidad})(\text{uso de aplicación}) \quad (3.25)$$

U_s = Usuarios Simultáneos.

U_t = Usuarios totales.

% simultaneidad = Factor de simultaneidad.

% de uso de aplicación = Porcentaje de uso por aplicación.

3.6. Cálculo del enlace satélital.

En esta sección, se efectuarán los cálculos de diseño de el enlace satélital considerando los siguientes puntos:

- a) Repetidor (Satélite)
- b) Estación Terrena Remota (VSAT)

Al realizar el diseño de un enlace satélital, se deben tomar varias consideraciones y parámetros que afectan de manera sustancial al enlace satélital a través del espacio libre, estos factores pueden ser internos o externos como los siguientes:

- La distancia entre el Satélite y las estaciones remotas a comunicar (perdidas por dispersión).
- La presencia de atmósfera en parte del trayecto de la señal (atenuación atmosférica).
- La presencia de lluvia para señales mayores a 10 Ghz (atenuación por lluvia).
- El ambiente de interferencias.

3.6.1. Parámetros técnicos estación terrena y segmento espacial

Teniendo en cuenta que la mayoría de los datos para el cálculo de los enlaces satelitales son proporcionados por los fabricantes de satélites y equipos, lo que se puede ver en la Tabla 3.13, por consiguiente se centrará en calcular los parámetros que se pueden procesar como diseñadores. El diseño y los parámetros se pueden controlar de acuerdo con el escenario más adecuado, eliminando esos que no se puede controlar.

Basándonos en los objetivos de este trabajo, dados los estudios realizados, nos concentraremos en el satélite seleccionado y la ubicación de la estación remota "A" en la ciudad de Esmeraldas.

3.6.2. Orientación de la antena hacia el Satélite.

El ángulo de elevación y el azimut, dependen ambos, de la latitud y la longitud de la estación terrena como del satélite en órbita. Para un satélite geosíncrono, en una órbita ecuatorial, el procedimiento es el siguiente:

1. Determine la longitud y latitud de la estación terrestre.
2. Determine la longitud del satélite de interés.

Cuadro 3.13: Datos del Segmento Espacial y estación Terrena.

Parámetros de Satélite:	
Potencia Tx en [dB/W]	EIRP = 46 dBw
G/T del Satélite	G/T = dB/K ^o
Posición Satélite	Long = 36° Oeste
Parámetro del Sistema:	
Ancho de banda	33 - 36 MHz
Pérdidas Propagación Descendente	210,11 dB
Parámetros de Estación Remota	
Posición Estación Terrena	Lat = 0,9628° N
	Long = 79,62 °O
Diámetro Antena	1,2 metros
Eficiencia de antena	80 % (min)
Frecuencia Descendente	12,200 GHz
Temperatura de sistema Rx	

3. Calcule la diferencia, en grados, entre la longitud del satélite y la longitud de la estación terrena.

$$\Delta L = LongEstacion - LongSatelite. \quad (3.26)$$

Ángulo de Azimut:

$$\theta = \arctan\left[\frac{\tan \Delta l}{\sin l}\right] \quad (3.27)$$

l : Latitud de la estación terrena

ΔL : Longitud del satélite-Longitud terrena

$$\theta = \arctan\left[\frac{\tan(43,62)}{\sin(0,9628)}\right] = 88,989^\circ \quad (3.28)$$

Ángulo de Elevación:

$$\theta = \arctan\left[\frac{\cos l * \cos \Delta L - \frac{Re}{h}}{\sin[\arccos(\cos l * \cos \Delta L)]}\right] \quad (3.29)$$

$$\theta = \arctan\left[\frac{\cos 0,9628 * \cos 43,62 - \frac{6378km}{42164km}}{\sin[\arccos(\cos 0,9628 * \cos 43,62)]}\right] = 39,69^\circ \quad (3.30)$$

Re :Radio de la tierra = 6,378 km

h :Radio de la órbita = 42,164 km

l : Latitud de la estación terrena.

L : Longitud del satélite – Longitud de la estación terrena.

Distancia Satélite - Estación Remota:

$$D = 35786,04[1 + 0,4199(1 - \cos l * \cos \Delta L)]^{1/2} \quad (3.31)$$

$$D = 35786,04[1 + 0,4199(1 - \cos 0,9628 * \cos 43,62)]^{1/2} = 37804,05km \quad (3.32)$$

Ganancia de la Antena.

Antes de definir el valor de la ganancia de la antena hay que conocer sus características técnicas, las misma que son provista por el fabricante como lo son:

η : Eficiencia de la antena.

d : Diametro de la antena en metros.

f : Frecuencia λ : Longitud de onda.

C = Velocidad de la luz.

$$\lambda = \frac{3 * 10^8}{12,2GHz} = 0,024m \quad (3.33)$$

$$G = \eta \left[\frac{\pi * d}{\lambda} \right]^2 \quad (3.34)$$

$$G = 0,8 \left[\frac{\pi * 1,2m}{0,024m} \right]^2 = 19739,2 \quad (3.35)$$

$$G[dBi] = 10 \log(19739,2) = 42,953dBi \quad (3.36)$$

Directividad de la Antena.

Conociendo los valores de longitud de onda y de la eficiencia tenemos que:

$$A = \pi * \eta \left(\frac{d}{4} \right) \quad (3.37)$$

$$A = \pi * 0,8 \left(\frac{1,2}{4} \right) = 0,9047 \quad (3.38)$$

Por utliom la directividad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Di = \frac{4\pi}{\lambda^2} * A \quad (3.39)$$

$$Di = \frac{4\pi}{0,0242} * 0,9047 = 0,7218 \quad (3.40)$$

A = es el área de apertura de la antena

Densidad de Flujo Saturado (SDF).

$$SDF[dB/m^2] = PIRE(dBw) - 10 \log(4\pi d^2) \quad (3.41)$$

$$SDF[dB/m^2] = 46dBW - 10 \log(4\pi 37804,05^2) = -56,64[dB/m^2] \quad (3.42)$$

3.6.3. Cálculo por pérdidas de Transmisión.

Pérdidas en el espacio Libre.

Con la ecuación

$$Lo = 20 \log(D)km + 20 \log(f)GHz + 92,5dB \quad (3.43)$$

$$Lo = 20 \log(37804,05) + 20 \log(12,2)GHz + 92,5dB = 205,77dB \quad (3.44)$$

Pérdidas atmosféricas.

De la Tabla 3.6 se extrae el valor de atenuación en función de la frecuencia. Por consiguiente se tiene el valor de pérdidas atmosféricas de 0.53 [dBm].

Atenuación por efecto de lluvia.

Aplicando la ecuación 3.10 podemos calcular la atenuación por los efecto de lluvia, con los coeficientes de la Tabla 3.7.

$$Y(dBm/km) = KR^\alpha Y(dBm/km) = (0,0101) * 98^{1,276} = 3,41[dBm] \quad (3.45)$$

Perdidas por seguimiento.

Con los datos de la Tabla 3.8 podemos deducir las perdidas de seguimiento de acuerdo a la banda de frecuencia utilizada (Ku). Obteniendo un valor de 0.2

Pérdidas de propagacion

$$L = Lo + Lant + Lrain + Ltrank \quad (3.46)$$

Dónde:

Lo = Pérdidas de espacio libre.

Latm = Pérdidas atmosféricas.

Lrain = Atenuación debido a efectos de lluvias.

Ltracj = Pérdidas debidas a errores de seguimiento.

$$L = 205,77[dBm] + 0,53[dB] + 3,41[dB] + 0,2[dB] = 210,11[dB] \quad (3.47)$$

3.6.4. Temperatura de Ruido del Sistema.

Mediante la ecuación 3.11. podemos calcular la Temperatura de ruido del sistema.

$$T_{sistema} = \left(\frac{T_{ant}}{L}\right) + \left[\left(1 - \frac{1}{L}\right) * T_o\right] + T_e \quad (3.48)$$

$$T_{sistema} = \left(\frac{50K}{2}\right) + \left[\left(1 - \frac{1}{2}\right) * 290\right] + ,72K = 220,72K \quad (3.49)$$

Dado que:

$$T_{antena} = 50^\circ K$$

$$L = 2dB$$

$$T_o = 290^\circ$$

$$T_e = 50.72$$

Figura de Mérito G/T Es igual a:

$$G/T = G_{rx} - 10 \log T_{sistema} \quad (3.50)$$

$$G/T = 43[dB] - 10 \log 220,72 = 19,56[dB/K] \quad (3.51)$$

Relación Portadora a Ruido.

$$\frac{C}{N} = PIRE - L + G/T - 10 \log k - 10 \log B \quad (3.52)$$

$$\frac{C}{N} = 46[dB/W] - 210[dBm] + 19,56[dB/k] - 10 \log(1 * 10^{-23}) - 10 \log(36 MHz) = 69,886[dB] \quad (3.53)$$

Ahora se puede calcular la relación de la señal a densidad de ruido a partir de la ecuación:

$$\frac{C}{N_o} = 46[dBW] - 210,11[dB] + 19,56[dB/k] - 10 \log(1,38 * 10^{-23}) = 84,0512[dB] \quad (3.54)$$

3.6.5. Cálculo del enlace Descendente.

3.6.5.1. Relación Portadora a Ruido del enlace descendente

Datos:

$$\lambda_{DESC} = 0,024 \text{ m}$$

$$GANT)_{Rx} = 43 \text{ dBi}$$

$$G/T = 19.56 \text{ dB-K}$$

$$PIRE_{SAT} = 46 \text{ dBW}$$

$$B = 36 \text{ MHz} \Rightarrow BN = 10 \log(36 \times 10^6) = 75.56 \text{ dB-Hz}$$

$$K = \text{Constante de Boltzman} = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K} = -228,6 \text{ dB/K}$$

$$\frac{C}{N}(\text{Down}) = 46[\text{dB/W}] - 210,11[\text{dBm}] + 43[\text{dBi}] - 10\log(1,38 \times 10^{-23}) - 10\log(36 \text{ MHz}) = 31,928[\text{dB}] \quad (3.55)$$

3.6.5.2. Ruido Térmico en el enlace descendente.

$$C/T_{down} = 46[\text{dBW}] - 210,11[\text{dBm}] + 19,5[\text{dB/k}] - 3,5[\text{dB}] = -149,05 \quad (3.56)$$

3.6.5.3. Nivel de sensibilidad del Receptor.

Pues finalmente, el nivel de potencia mínimo (sensibilidad) que se necesita a la entrada del demodulador para obtener un cierto umbral de calidad, podrá obtenerse a partir del valor de C/N si conocemos el nivel de ruido en dicho punto.

$$S_{min} = \frac{C}{N}(\text{Down}[\text{dB}]) + N[\text{dBm}] + G/T[\text{dB/k}] \quad (3.57)$$

$$S_{min} = 31,928,93[\text{dB}] + (-128,41[\text{dB/K}]) + 19,56[\text{dB/k}] = -76,92[\text{dB}] \quad (3.58)$$

3.6.5.4. Nivel de Recepción de la señal.

Utilizando la ecuación 3.59 se establece un nivel óptimo de recepción para la viabilidad del enlace.

$$Nrs = P_{tX} - L_o - L_{cotx} - L_{catx} + G_{tx} - L_{co_{rx}} - L_{ca_{rx}} + G_{rx} \quad (3.59)$$

3.6.6. Tasa de Error de Bit.

Para calcular el BER se debe conocer ante la energía de bit recibida por la densidad espectral de ruido está dada por la ecuación 3.22

$$\frac{E_b}{N_o} = 84,0512[\text{dB}] - 10 \log(1500)[\text{Kbps}] = 22,23[\text{dB}] \quad (3.60)$$

Para calcular la tasa de error de bit se utiliza la ecuacion 3.5

$$BER = \frac{\left(\frac{\exp^{-22,23}}{1,85 * \sqrt{(22,23)}}\right)}{2} = 1,270 * 10^{-11} \quad (3.61)$$

3.7. Diseño estructural de la red interna.

Para la red interna de la escuela se crea una LAN, la compone varios elementos y equipos para ofrecer diversos servicios mencionados anteriormente.

Las estaciones de trabajo (laboratorios) y los ordenadores personales en las oficinas normalmente están conectados en una red LAN, lo que permite que los usuarios envíen o reciban archivos y compartan el acceso a los archivos y a los datos. Cada ordenador conectado a una LAN se llama un nodo.

En la red LAN para la escuela se recomienda instalar los siguientes equipos:

- **Switch.** Permite interconectar los dispositivos (computadoras, servidores, MODEM satélital, etc.) de la red.
- **PC's.** Computadoras instaladas en la red LAN.
- **Impresora.**
- **Scanner.**
- **Teléfono USB** de escritorio, dispositivo para realizar llamadas telefónicas a través del software seleccionado para ofrecer servicio a través de VoIP.
- **Puntos de accesos exterior con Wifi.** Para mejorar la cobertura en espacios abiertos como; cachas deportivas, correderos, patios, etc

A continuación en la Fig. 3.16 se muestran los equipos sugeridos para el diseño de la red:

3.7.1. Diseño de Capa 1.

La categoría 6 UTP se utiliza como referencia, ya que es el cable más utilizado. Se encuentra actualmente en el diseño de LAN debido a su principal función de soporte Ethernet (10 Mbps), Fast Ethernet (100 Mbps), Gigabit Ethernet (1000 Mbps). La topología que se utilizará en este sistema será una topología en estrella, utilizando el estándar EIA/TIA-568-B, el mismo estándar se aplicará al cableado estructurado.

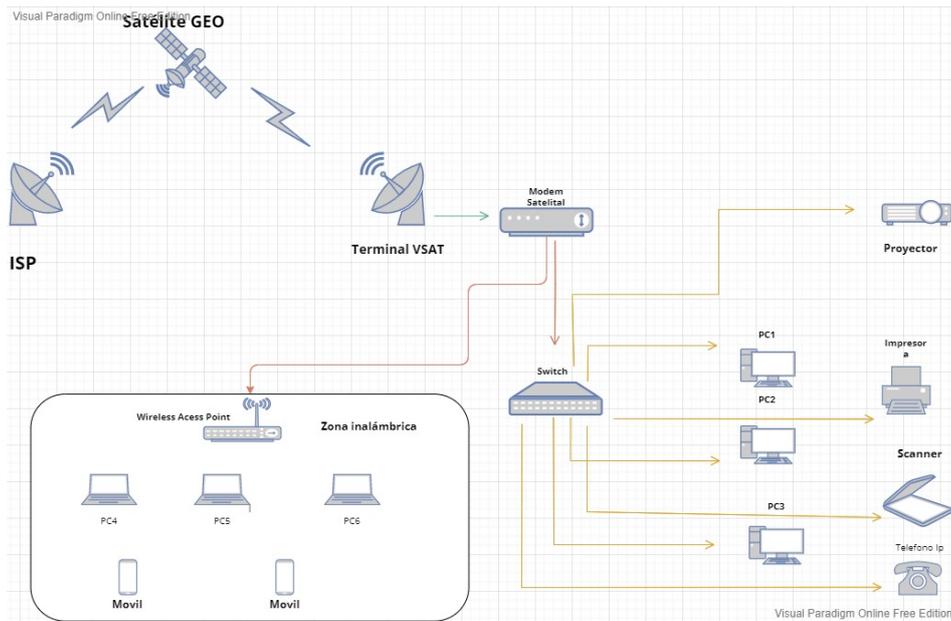


Figura 3.12: Diagrama estructural de la red estructura interna.

Diseño del Cableado Estructurado.

Un SCE (Sistema de Cableado Estructurado), tiene varios subsistemas a consideración entre los cuales tenemos los siguientes:

- Cableado Horizontal.
- Cableado Vertical.
- Area de trabajo.
- Cuarto de equipos.
- Acometida.
- Administración.

Cada uno de estos subsistemas está diseñado y considerado según la norma EIA/TIA-568-B. Tenga en cuenta que muchas de estas entradas no están presentes en la red. No se dan detalles

Norma TIA/EIA-568-B.

TIA/EIA-568-B es un conjunto de tres normas de telecomunicaciones de la Asociación de la Industria de Telecomunicaciones, un miembro de la EIA en 1988. Las tres normas están formalmente tituladas ANSI/TIA/EIA-568-B.1-2001,-B.2-2001 y-B.3-2001.Las normas TIA/EIA-568-B se publicaron por primera vez en 2001 [48]. El estándar ANSI/EIA/TIA-568-B está formado por:

- ANSI/EIA/TIA-568-B.1-2001 que trata sobre requerimientos generales.

- ANSI/EIA/TIA-568-B.2-2001 que trata sobre sistemas de par trenzado.
- ANSI/EIA/TIA-568-B.3-2001 que trata sobre sistemas de fibra óptica.

Gráfico 27: Características cableado RJ-45⁴⁰

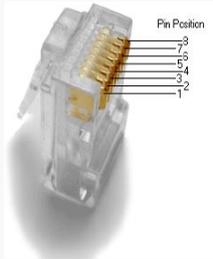
Cableado RJ-45 (T568AB)			
Pin	Color T568A	Color T568B	Pines en conector macho (en conector hembra se invierten)
1	Blanco/Verde (W-G)	Blanco/Naranja (W-O)	
2	Verde (G)	Naranja (O)	
3	Blanco/Naranja (W-O)	Blanco/Verde (W-G)	
4	Azul (BL)	Azul (BL)	
5	Blanco/Azul (W-BL)	Blanco/Azul (W-BL)	
6	Naranja (O)	Verde (G)	
7	Blanco/Marrón (W-BR)	Blanco/Marrón (W-BR)	
8	Marrón (BR)	Marrón (BR)	

Figura 3.13: Características cableado RJ-4540 [10].

Cableado horizontal

Este subsistema está formado por un conjunto de cables y medios de transmisión (cable, fibra, coaxial, etc.) conectando los puntos de distribución ubicados en la de comunicaciones con conectores de estación de trabajo.

La distancia máxima del cableado horizontal deber ser de 90 m, independiente del tipo de medio, de la misma manera para cada canal horizontal el total de patchcords, cables en el cuarto de comunicaciones no debe exceder los 10 m, la longitud de los patchcords no debe exceder los 5 metros, lo que limita la distancia máxima de salida del canal hasta el equipo de trabajo a 5 metros.

Cableado Vertical.

El cableado vertical o de "backbone" es el que interconecta los distintos armarios de comunicaciones. Éstos pueden estar situados en plantas o habitaciones distintas de un mismo edificio o incluso en edificios colindantes. Como se aprecia en la Fig. 3.14 .

En el cableado vertical se utiliza cable UTP de categoria 6. La topología que se usa es en estrella existiendo un panel de distribución central al que se conectan los paneles de distribución horizontal.

Para el presente proyecto si aplica este subsistema, ya que a pesar de ser una red pequeña, requiere esta interconexión por la infraestructura de las aulas de la escuela.

Área de trabajo. Este subsistema proporciona conectividad entre el subsistema de cable horizontalmente, ideal para realizar la conexión de las maquinas del laborato-

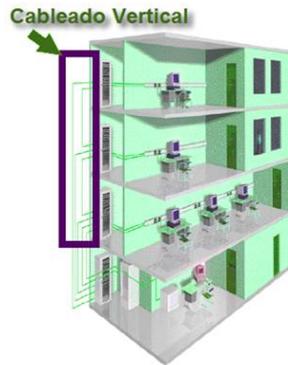


Figura 3.14: *Cableado vertical [10].*

rio de computo.



Figura 3.15: *Subsistema de laboratorio de computo.*

Cuarto de Equipos.

Este subsistema, es el área designada dentro de un edificio para contener los equipos de telecomunicaciones y sus conexiones, tal como se muestra en la Fig. 3.15. Además, la función principal es la terminación del cableado horizontal y vertical en un hardware compatible. En este cuarto se encuentran elementos importantes de la red como son:

- PatchPanels.
- Bandejas para equipos activos.
- Organizadores de cableado.
- Equipos de conectividad (hub, switches, routers).
- Lugar centralizado para equipos de Telecomunicaciones.

Para el presente proyecto, el cuarto de equipos será el mismo que el de laboratorio ya que no se cuenta con el espacio adecuado para un lugar independiente.

Acometida.

Este subsistema incluye cables, conectores, dispositivos de protección, etc. Equipo necesario para conectar el cableado de comunicación externa. No se incluirá aquí información detallada sobre las propiedades de los elementos o sus componentes, puesto que

cada proveedores instalar los terminales en la sala de control de acuerdo con sus normas.

Switch Tp-link Tl-sg1024d.

Para la interconexión de las maquinas del laboratorio se utilizará el swieth de 24 puerto modelo Tl-sg1024d, obsévese en la Fig. 3.16, con capadacidades de 10/100/1000Mbps, protocolo y estándares IEEE 802.3i, IEEE 802.3u, IEEE 802.3ab, IEEE 802.3x, IEEE 802.1q, IEEE 802.1p y bajo consumo de energía. Las especificaciones y caraterísticas técnicas se indican en la Tabla 3.14



Figura 3.16: Swieth para red LAN [11].

Cuadro 3.14: Características del switch Tl-sg1024d [11].

Especificaciones Técnicas	
Estándares y Protocolos	IEEE 802.3i, IEEE 802.3u,
	IEEE 802.3ab, IEEE 802.3x,
	IEEE 802.1q, IEEE 802.1p
Interfaz	24 puertos RJ45 a 10/100/1000 Mbps
Medios de Red	10Base-T, 100Base-Tx, 1000Base-T
Fuente de Alimentación	100-240VAC, 50/60Hz
Consumo de Potencia	Máximo: 14.86W (220V/50Hz)
Dimensiones	11.6*7.1*1.7 in. (294*180*44 mm)
Montaje	Montaje en Rack
Temperatura de funcionamiento	0°- 40°C (32°F - 104°F);
Humedad de funcionamiento:	10 % 90 % sin condensación

3.7.2. Punto de acceso inalámbrico.

Para lograr una cobertura mayor en las distintas la zonas de la escuela; patios, canchas, corredores, pabellones, etc. Se utilizará puntos de acceso inalámbricos para cubrir grandes áreas con una conexión de calidad, reduciendo el uso de cableado, permitiendo la conexión simultáneas para más dispositivo. De esta forma se puede abarcar una gran zona en la que poder trabajar con dispositivos inalámbricos, en la que este dispositivo se conecta a redes secundarias utilizando su identificador de la red principal.

El access point a utilizar es el **CPE210 V3.20** ver Fig. 3.17, dispositivo hermético ideal para ambientes exteriores, con protección contra lluvias, polvo, rayos de 6000V, equipo ligero y de facil instalación y configuración [12]. Las caraterísticas de hardware, software e inalaámbrica se indican en la Tabla 3.15.



Figura 3.17: *Access point CPE210 V3.20 [12].*

Cuadro 3.15: Especificaciones del Aceso point CPE210 V3.20 [12].

CARACTERÍSTICAS DE HARDWARE	
Procesador	CPU Qualcomm Atheros 560MHz, MIPS 74Kc
Memoria	RAM DDR2 64MB, Flash 8MB
Interfaz	1 Puerto Ethernet blindado 10/100Mbps (LAN0, PoE Pasivo de Entrada)
	1 Puerto Ethernet blindado 10/100Mbps (LAN1, PoE Pasivo Passthrough)
	1 Terminal de toma de tierra
	1 Botón de Reset
Fuente de Alimentación	Adaptador PoE Pasivo vía LAN0 (+4,5pins; -7,8pins)
	Rango de Voltaje: 16-27VDC
Consumo de Potencia	Máximo de 10.5 Watios
	Nota: Cuando está configurado usando el adaptador de POE pasivo, la energía obtenida de la fuente de alimentación variará dependiendo de la longitud del cable de conexión.
Dimensiones	224 x 79 x 60 mm
Tipo de Antena	Antena Direccional Doblemente Polarizada MIMO 2x2 de 9dBi Ancho de Haz: 65° (Plano-H) / 35° (Plano-E) Nota: Para más detalles, por favor consulte la hoja de datos
Protección	Protección ESD de 15KV Protección contra rayos de 6000V
Carcasa	Material plástico estabilizado ASA para exterior Certificado contra agua IPX5
CARACTERÍSTICAS INALÁMBRICAS	
Estándares Inalámbricos	IEEE 802.11b/g/n (with Pharos MAXstream disabled)
Protocolo Propietario	TDMA Mode (with Pharos MAXstream enabled)
Velocidad Inalámbrica	Hasta 300Mbps (40MHz, Dinámico)
	Hasta 144.4Mbps (20MHz, Dinámico)
	Hasta 72.2Mbps (10MHz, Dinámico)
	Hasta 36.1Mbps (5MHz, Dinámico)
Frecuencia	2.4~2.483GHz
	Nota: Las frecuencias operativas disponibles pueden variar dependiendo de las limitaciones de los países o regiones donde se use este dispositivo.
Sensibilidad de Recepción	<ul style="list-style-type: none"> • 802.11b: 11M: -95dBm, 5.5M: -96dBm, 2M: -96dBm, 1M: -96dBm • 802.11g: 54M: -79dBm, 48M: -80dBm, 36M: -84dBm, 6-24M: -88dBm • 802.11n: MCS15: -76dBm, MCS14: -78dBm, MCS13: -80dBm, MCS12: -84dBm, MCS11: -87dBm, MCS10: -91dBm, MCS9: -93dBm, MCS8: -96dBm, MCS7: -76dBm, MCS6: -78dBm, MCS5: -80dBm, MCS4: -84dBm, MCS3: -87dBm, MCS2: -91dBm, MCS1: -93dBm, MCS0: -96dBm
	27dBm/500mw (potencia ajustable hasta 1dBm)
Potencia de Transmisión	Nota: La potencia máxima de transmisión puede variar en los diferentes canales dependiendo de las limitaciones de los países o regiones donde se use el dispositivo.

Capítulo 4

Resultados y discusión.

Esta sección se centrará en determinar la factibilidad y viabilidad técnica, del diseño propuesto de la red satelital para la difusión de datos en una estación terrena de tipo amateur y de alcance global. Al mismo tiempo se empleará el uso de herramientas de software como MATLAB para simular, analizar y realizar pruebas del enlace y el sistema de comunicación satelital.

4.1. Resultados.

Como se mencionó anteriormente se utiliza el software MATLAB para la verificación de resultados, específicamente la herramienta Satellite Communications Toolbox, ideal para evaluar los tradeoffs, disponibilidad y sensibilidad del enlace.

Satellite Communications Toolbox.

Satellite Communications Toolbox es una herramienta que contiene varias funciones especializadas en distintos campos como son: Modelar y visualizar órbitas satelitales, así como realizar análisis de enlaces y cálculos de acceso. También puede diseñar algoritmos de capa física junto con componentes de RF y receptores de estaciones terrestres, generar formas de onda de prueba y verificar el diseño con referencias de alto nivel.

4.1.1. Generación y visualización de escenarios.

En la Fig. 4.1 se puede observar el desplazamiento orbital (GEO) en 3D del satélite HISPASAT 36W-1 de longitud 36 oeste y de altitud 35781.70 Km [46], el cual cubre una zona de cobertura, donde se encuentra la estación terrena de longitud -79.62 O y latitud -0.9628N, con una huella de calor que irradia un PIRE de 49 dBW aproximadamente como se indica en la Fig. 4.2, por el cual se desplaza el satélite de acuerdo a las especificaciones y parámetros provisto por el fabricante [49].

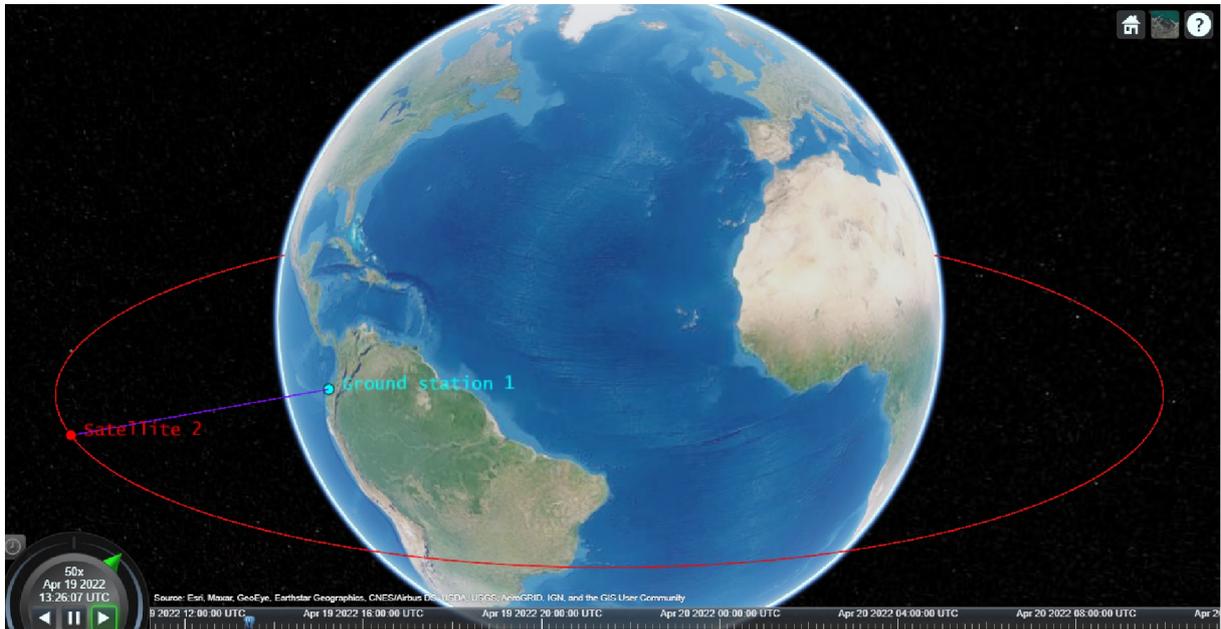


Figura 4.1: Desplazamiento orbital del satélite

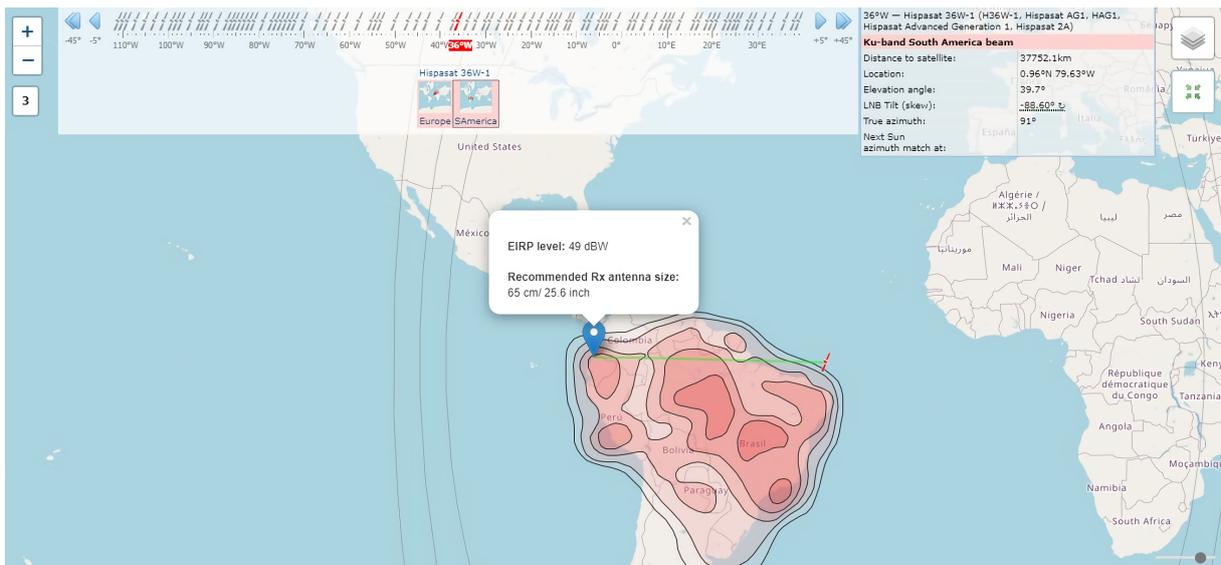


Figura 4.2: Huella de cobertura del satélite.

4.1.2. Pérdidas de Propagación en el segmento Espacio-Tierra.

Es de vital importancia la consideración de la atenuación de la señal debido a los efectos ionosféricos en los enlaces Tierra - Espacio, estas pérdidas se vuelven significativas para señales por encima de los 5GHz y ángulos de elevación bajos. Con la herramienta de Matlab se estableció la configuración necesaria para el cálculo de las pérdidas de propagación Tierra-Espacio, tal como se define en la recomendación ITU-R P.618 [50].

Atenuación por LLuvia.

Es necesario calcular la atenuación producida por la lluvia a partir de valores de intensidad de lluvia conocido [51], en el cuadro 4.1 se exponen valores de atenuación debido a la lluvia con diferentes intensidad de precipitación de lluvia ligera, moderada y fuerte. Como se puede observar claramente la atenuación por lluvia es directamente proporcional a la intensidad de precipitación.

Atenuación debido a la lluvia			
Criterio	mm\h	Intensidad de precipitación	Atenuación(dBm)
		1	0,292
Ligera	<= 2,5	1,5	0,4592
		2,5	0,8072
		3,5	1,1647
Moderada	2,5 - 7,5	4,5	1,5271
		5,5	1,892
		7,5	2,6245
Fuerte	>=7,5	8,5	2,9908
		10	3,5388

Cuadro 4.1: Valores de atenuación debido por los efecto de lluvias.

Al mismo tiempo se puede producir una atenuación mayor por lluvia, la cual puede ser significativa, para frecuencia mayores a los 10 GHz. En la Fig. 4.3 se concatena las pérdidas por intensidad de lluvia con la frecuencia de operación.

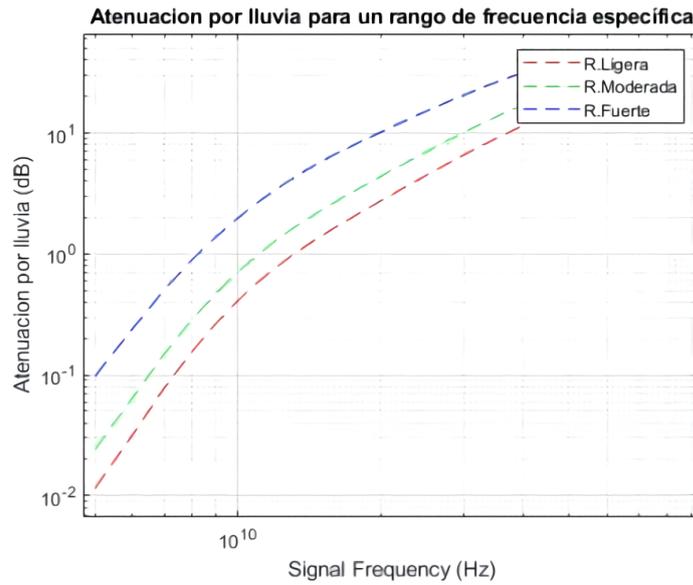


Figura 4.3: Atenuación debido a la lluvia para un rango de frecuencia dado.

Atenuación por el Ángulo de elevación.

Otras de las pérdidas que se puede llegar a presentar es la atenuación por el ángulo de elevación, como se observa en la Fig. 4.4, la atenuación para ángulos de elevación puede llegar a ser significativa para ángulos menores a 20 grados.

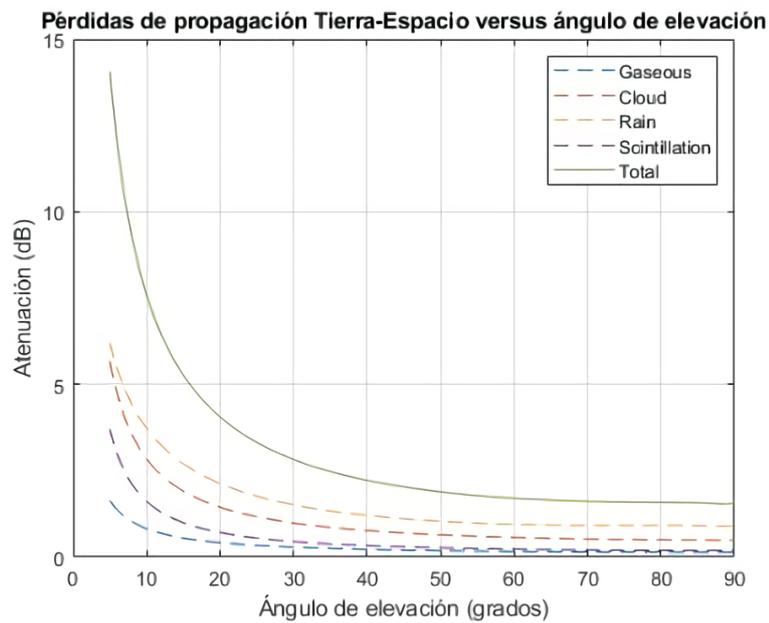


Figura 4.4: Atenuación respecto al ángulo de elevación.

Atenuación por Gases atmosféricos.

La atenuación gaseosa se modela en función de la frecuencia de la señal, el ángulo de elevación, la altura de la estación terrena y la densidad del vapor de agua. Según las condiciones de propagación, las atenuaciones gaseosas pueden ser significativas con frecuencias superiores a 10 GHz y despreciables con frecuencias inferiores a 10 GHz

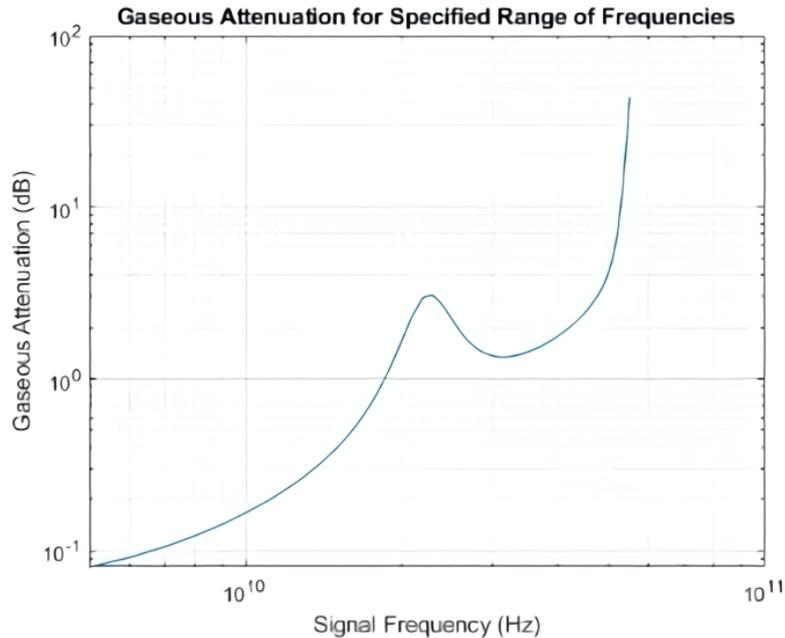


Figura 4.5: Atenuación por gases atmosféricos.

En la Fig. 4.6 se presentan las pérdidas de porcentaje de tiempo de exceso para la atenuación gaseosa, la atenuación de la nube, la atenuación de la lluvia, el centelleo y la atenuación atmosférica total.

4.1.3. Análisis del Presupuesto del enlace. (Link Budget).

En la tabla 4.2 se exponen los resultados del presupuesto del enlace, realizado con la aplicación Satellite Link Budget Analyzer de Matlab. Los resultados más relevante obtenidos con la aplicación se encuentran en la sección de Link Budget en la Tabla 4.3, ya que se obtiene valores de relación a ruido ($C/N = 69.143\text{dB}$), relación portadora a densidad espectral ($C/N_0 = 84.70\text{ dB/Hz}$) y la relación energía a bit a densidad Espectral del ruido ($E_o/N_0 = 22.93\text{ dB}$) para el enlace de bajada (Downstream), el cual es el tema central del diseño, así como también el valor del link Margin (Margen del enlace), que es de mucha utilidad al momento de determinar la confiabilidad del enlace, ya que con el aseguramos estar dentro de un rango de la probabilidad de error requerida BER.

El valor del link margin obtenido por el programa es de 10.92dB, esto quiere decir que se encuentra dentro del rango aceptable para comunicaciones vía satélite, es muy

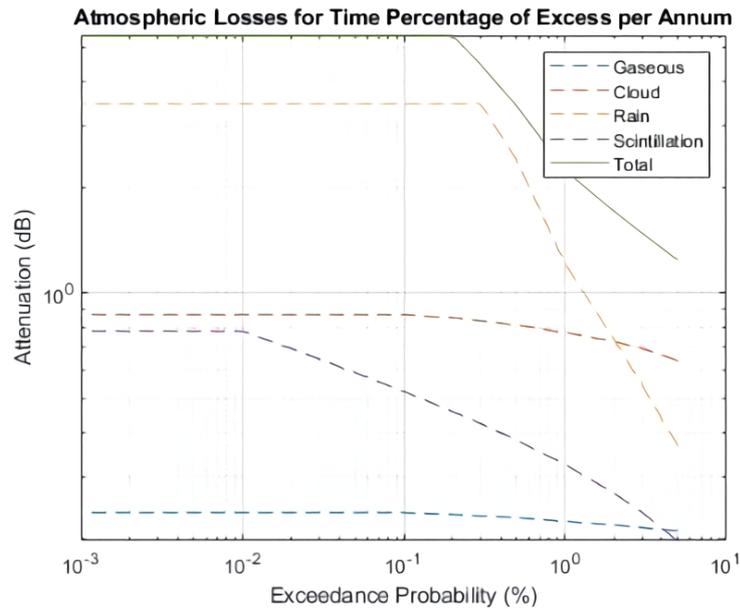


Figura 4.6: Pérdidas Atmosféricas por Tiempo de Porcentaje de Exceso por Año.

importante construir sistemas en la que el demulador tenga este margen de seguridad.

Por otra lado (E_b/N_0) obtenida es mucho mayor que el valor mínimo requerido para una transmisión de datos digitales vía satélite, lo que se traduce en una buena sensibilidad del demulador, debido a que, brinda una tasa de probabilidad de error muy buena, por debajo de los 10^{-6} para que se pueda considerar un BER aceptable en comunicaciones digitales.

Como se puede apreciar, los resultados manuales apenas difieren de los calculados con la herramienta. Las diferencias existentes se deber al redondeo que se hace al realizarlos manualmente. Por lo que se concluye que los cálculos efectuados son correctos y validan la factibilidad del enlace.

Cuadro 4.2: a) Resultados del presupuesto del enlace.

DATOS GENERALES								
SATELITE			SISTEMA			ESTACION TERRENA		
Descripcion	Valor	Unidad	Descripcion	Valor	Unidad	Descripcion	Valor	Unidad
Longitud	36	(deg)	Frecuencia (down)	12,2	GHz	Latitud	0,9628	(deg)
			Ancho de banda	36	MHz	Longitud	-79,62	(deg)
			Tasa de bit	1,5	Mbps			
Longitud	36	(deg)	Eo/No Requerido	14	dB	Altura	20	m
			Polarizacion mismatch	46	(deg)			
			Implementation loss	1	dB	Eficiencia antena	0,8	%
Altitud	35786	km	Antena Mispointing loss	1	dB			
			Radome loss	1	dB			
			Wavelength	0,024	m			
EIRP	46	dBW	Tem Tierra	290	°K	Temperatura LNB	50,72	°K
			Atmospheric losses	0,53	dB			
			Rain attenuation	3,41	dB	Temperatura Rx antena	50	dB/K
			Loss to Follow-up	0,2	dB			

RESULTADOS LINK BUDGET		
Dist. Sat -Estacion	37804.26	Km
A. Elevacion	39,36866	deg
Tx EIRP	46	dBW
Polarization loss	3,164	dB
FSLP	205,725	dB
Received isotropic	46	dBW
C/No	84,7	dB-Hz
C/N	69,143	dB
Recvido Eo/No	22,94	dB
Margen	10	dB
BER	$1,270 * 10^{-11}$	
Rx ganancia	42,89	dB
Temp Sytem	-220,21	dB/K
Pérdidas de Propagacion	211	dB
Saturated Flow Density (SDF)	-56,67	dB/m ²

Cuadro 4.3: b) Resultados del presupuesto del enlace.

4.1.4. Estimación de Ancho de Banda de la Red.

Capacidad de canal necesaria.

Para calcular la capacidad de canal necesaria, son consideradas las aplicaciones que serán utilizadas y la capacidad requerida por cada una de ellas, el número de usuarios totales y el número de usuarios simultáneos que se conectarán a la red y el porcentaje de uso de cada aplicación.

De la Tabla 3.11 se toma el total de ancho de banda promedio por usuario que es de 1361 Kbps

Número de usuarios totales.

La cantidad total de los usuarios o de los dispositivos que se conectarán a la red se la obtiene a partir de la población de la escuela.

- Número total de profesores: 31
- Número total de estudiantes del establecimiento: 784
- Número de Administrativos: 4

Sumando estos datos nos da un total de 819 usuarios finales, pero, este no es el valor real. Debido que no todas estas personas requieren de acceso a internet realmente, tenemos que descartar un porcentaje para acercarnos al valor real. Esto lo podemos deducir observando las características de edad de nuestra población, un gran porcentaje se encuentra en los alumnos menores de 8 años o que están por debajo del 4to año de educación básica.

La cantidad de alumnos que están por encima de esta métrica es de 407, pero este valor tampoco viene a ser la cantidad de dispositivos que se conectara a la red. Primero tenemos que conocer la cantidad de máquinas que existen en la institución, que para este tipo de unidad educativa no sabe ser mayor a 20 o 30 máquinas, contando las computadoras de laboratorios de cómputo, áreas administrativa y biblioteca. También hay que tener en mente que no todos los profesores y trabajadores estarán conectados, ya que puede ser el caso que utilices datos móviles.

No hay que olvidar que por ser una zona rural muy pocos estudiantes cuenta con terminales inalámbricos (teléfonos celulares), los cuales podrán conectarse a una extensión de red de acceso inalámbrico. Considerando lo anterior se puede estimar la cantidad total de dispositivos que se conectaría, a la red, no superaría los 300 dispositivos.

Número de usuarios simultáneos

Otro factor importante a considerar es el número de usuarios simultáneos que utilizaran la red, este valor depende de la fase de su hora de clases, es decir el factor de simultaneidad (ver Tabla 3.12), puesto que durante los primeros minutos se dedican a entregar tareas, revisar correo, etc. Para los cálculos se utilizara el promedio, 60 %.

Capacidad del ancho de banda.

Se la obtiene a partir ancho de banda promedio requerido por cada usuario y el numero de usuarios simultaneo en el canal.

$$Bw = Bwc/u * NUS \quad (4.1)$$

$$BW = 1361Kbps * 72 \quad (4.2)$$

$$BW = 97992Kbps = 97,99Mbps \quad (4.3)$$

4.2. Análisis de costos.

Los costos de inversión, abarca los gastos económicos necesario para adquirir el equipamiento de todos los equipos y elementos; el terminal remotos VSAT, el stock de repuestos necesarios, el software necesario, que pondrá en funcionamiento de la red de comunicaciones.

De igual forma se considera dentro de los costos de inversión, los costos de instalación del equipamiento en cuanto a obras civiles se refiere.

Para realizar el análisis económico se han seleccionado dispositivos y productos comerciales, existentes en el mercado ecuatoriano.

4.2.1. Costo de equipos e Instalación.

En la tabla adjunta 4.4 se muestran los costos unitarios y totales, para el suministro de los equipos y servicios para la instalación y puesta en marcha del proyecto.

Cuadro 4.4: Costo de equipamiento de la red.

Descripción	Cantidad	P. U. (USD)	Valor total
Sistema VSAT			
Antena Parabólica	1	36	36
LNB	1	24	24
Cable Coaxial	50m	0,6	30
EQUIPAMIENTO RED INTERNO			
HARDWARE			
Rack	1	20	20
Modem Satelital HN7700S	1	118	118
Switch	1	135	135
AP CPE210	2	62	124
PC para administración (Servidor)	1	500	500
INSTALACIÓN			
Cable UTP	100m	0,65	65
Canaletas 2m Adhexiva 16x100mm	6	3,15	18,9
Conectores RJ-45	20	0,41	8,2
TOTAL INVERSIONES REQUERIDAS			1079,1

4.2.2. Planes y tarifas de servicio de Internet satelital en Ecuador.

A continuación se indica los diferentes planes de velocidad y capacidad que ofrecen los proveedores de internet satelital.

Cuadro 4.5: Precios de los diferentes planes de internet.

Operadora	iData		Capacidad (GB)	Precio Mensual (\$)	Instalación
Plan	Velocidad (Mbps)				Desde los
plan 35	Down	Up			\$ 650
PLAN 35	25	3	35	81	
PLAN 50	25	3	50	111	
PLAN 100	25	3	100	232	
PLAN 200	25	3	200	418	
PLAN 400	25	3	400	580	
Operadora	HughesNet				
Plan 20	20	2	60	33,32	Sin costo de Instalacion
Plan 30	30	3	70	49,98	
Plan 40	40	4	80	64,99	
plan50	50	5	100	99,6	
plan50	50	5	100	99,6	

4.3. Prueba de rendimiento de la red.

Finalmente se realiza la prueba de conectividad de la red LAN, permitiendo hacer una evaluación del rendimiento de la misma. Mediante el software Cisco Packet Trace, se elabora un escenario (ver Fig. 4.7), con diferentes dispositivos (fijos y móviles) que conformarán la red local para poder medir los tiempos de latencias a diferentes velocidades de conexión, considerando los planes de servicios de internet satelital vistos en la sección anterior.

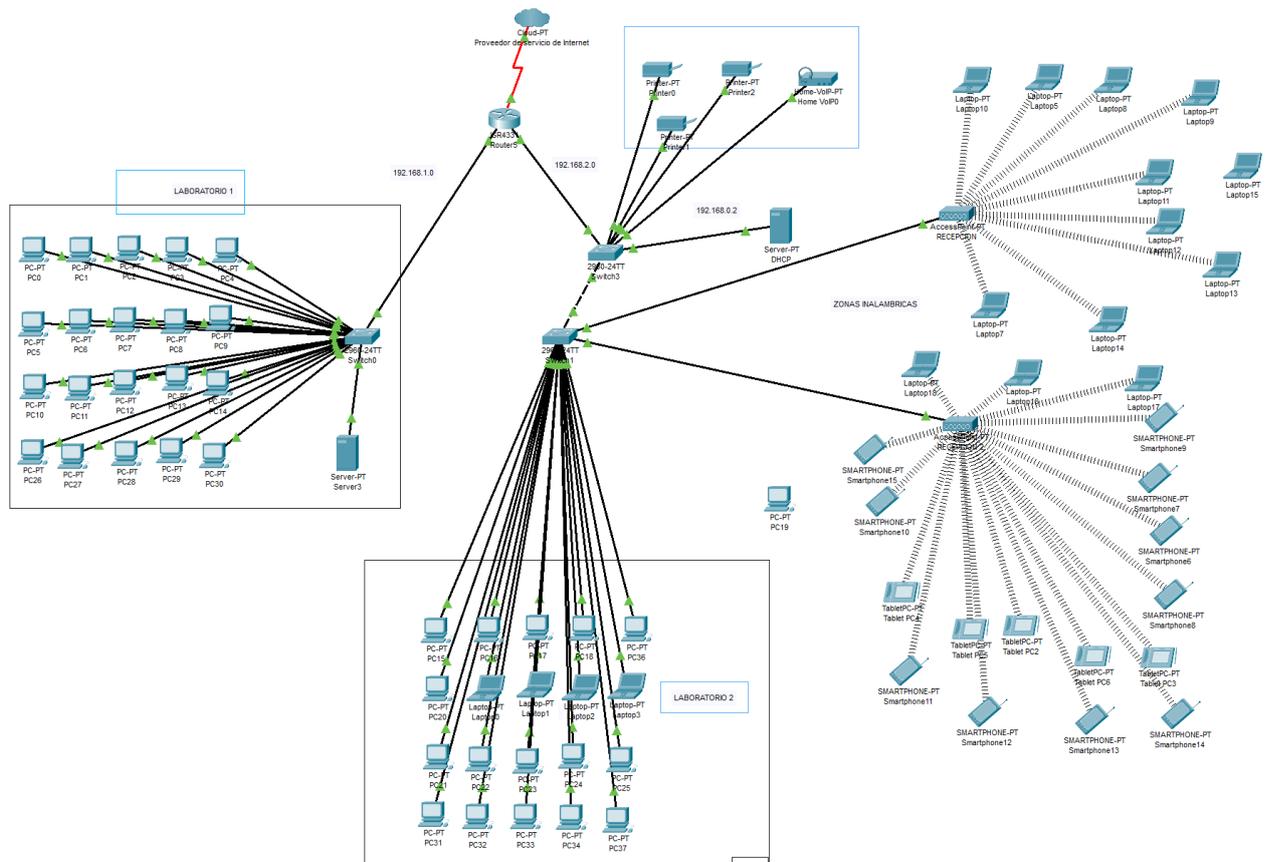


Figura 4.7: Escenario de simulación de los equipos de red.

Una manera eficaz para probar la conectividad y tiempos de latencia, es utilizando el comando "ping". Por lo general, a esta prueba se la conoce como prueba del stack de protocolos, porque el comando ping va desde la capa 3 del modelo OSI hasta la capa 2 y luego, hasta la capa 1. Este comando utiliza el protocolo ICMP para verificar la conectividad entre distintos host.

Escenario 1.

Como se vió en la Fig. 4.7, en este escenario existen un total de 72 dispositivos conectados mediante conexión alamburada e inalámbrica. El cuadro 4.6 muestra la estadísticas descriptiva realizada con el programa "SPSS" para el análisis estadísticos de los datos, dónde se puede observar claramente la varación de la media de la latencia está en función de distintas velocidades trasnmisión, cuando se tiene una mayor velocidad, por consecuencia existirá un menor valor de latecia, y aumentará si la velocidad decrece como se indica en la Fig. 4.8

Cuadro 4.6: Valores de latencia promedio de la red a 100bytes de tamaño de paquete.

Latencia 1 a 100 bytes								
Velocidad (Mbps)	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95 % del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
25Mb	20	19,55	5,28628	1,18205	17,0759	22,0241	13	31
40Mb	20	19,4	4,54683	1,0167	17,272	21,528	13	30
50Mb	20	18,2	4,22524	0,94479	16,2225	20,1775	13	28
100Mb	20	20,95	5,71678	1,27831	18,2745	23,6255	15	41
Total	80	19,525	4,98091	0,55688	18,4166	20,6334	13	41

Gráficos de medias

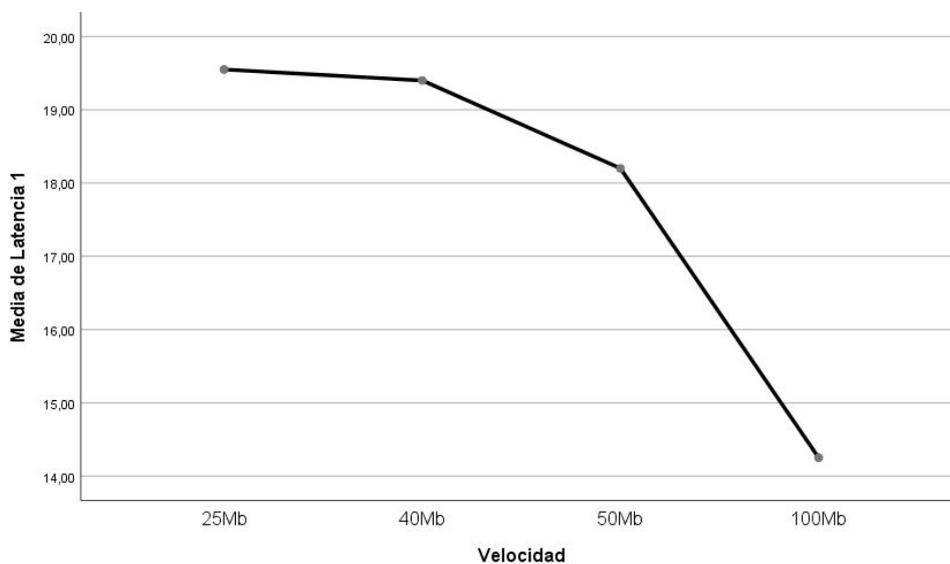


Figura 4.8: Medias de latencia con un tamaño de paquete de 100bytes.

De la Fig. 4.9 se puede visualizar que la tendencia central de la latencia, es decir, la que ocurre con mayor frecuencia es 13ms, la cual se encuentra cerca de la media que es 17.85ms por lo que se obtiene poca variabilidad de la latencia con una disminución gradual.

Histograma

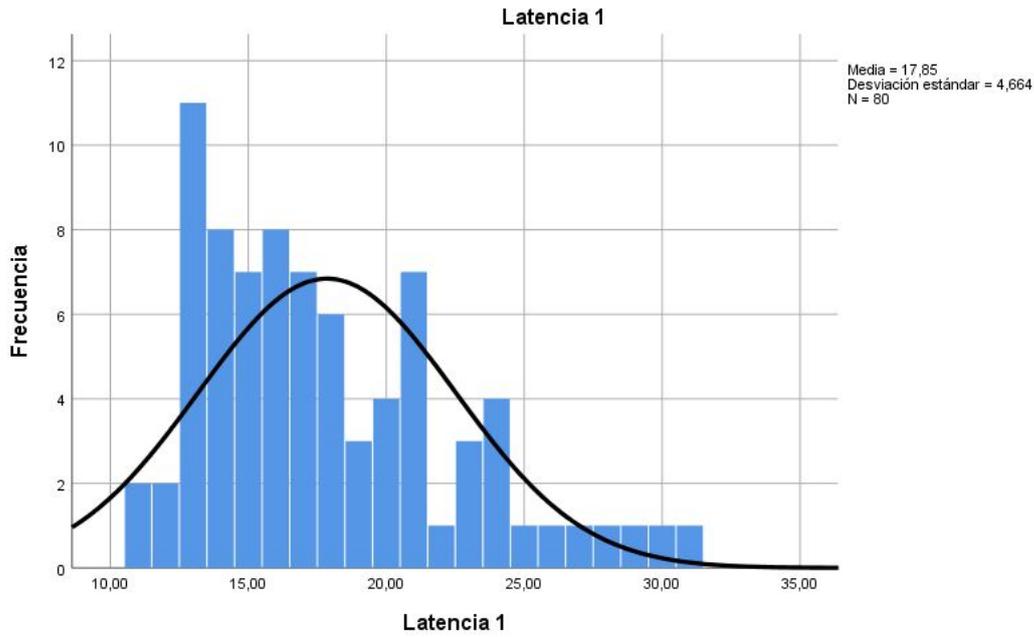


Figura 4.9: Variación de latencia a 100 bytes con 72 dispositivos

Otro factor que puede aumentar o reducir la latencia, es el volumen o tamaños de los paquetes en la transmisión de los datos, en el cuadro de 4.7 se observa como los tiempos de latencia se ven afectados significativamente cuando el tamaño del paquete es mucho mayor. En la Fig. 4.10 se observa el comportamiento de las diferentes medias.

Cuadro 4.7: Valores de latencia promedio de la red a 10000 bytes de tamaño de paquete.

Latencia 2 a 10000 bytes									
Velocidad	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95 % del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
					Límite inferior	Límite superior			
25Mb	20	130,0500	9,39471	2,10072	125,6531	134,4469	115,00	156,00	
40Mb	20	134,2000	12,32712	2,75643	128,4307	139,9693	113,00	173,00	
50Mb	20	129,3000	17,03896	3,81003	121,3255	137,2745	88,00	157,00	
100Mb	20	85,4000	6,80093	1,52073	82,2171	88,5829	62,00	94,00	
Total	80	119,7375	23,24321	2,59867	114,5650	124,9100	62,00	173,00	

Gráficos de medias

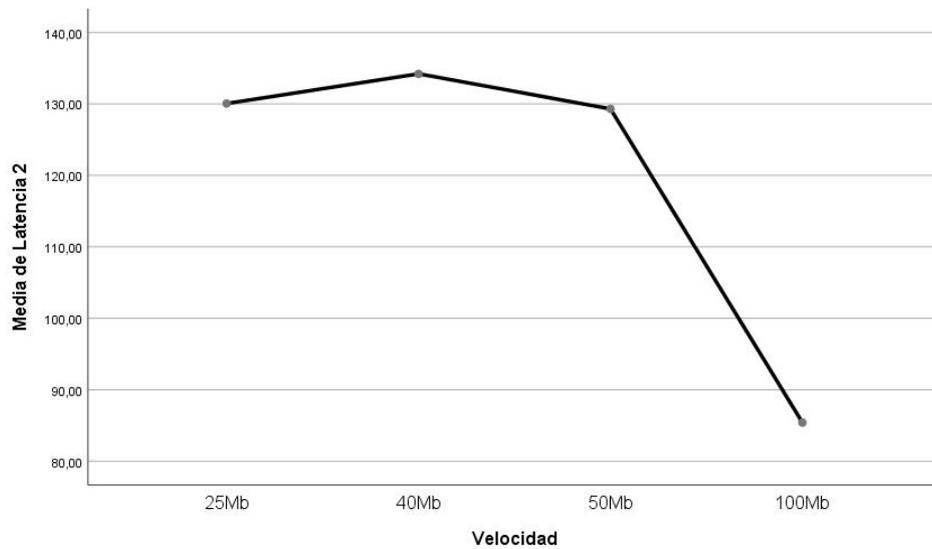


Figura 4.10: Medias de latencia con un tamaño de paquete de 10000bytes.

Como se puede ver en la Fig. 4.11, existen dos picos bimodal, dos concentraciones distintas de valores que se encuentran alejada de la media de 119.7ms lo que significa que existe un aumento en la variabilidad de la latencia cuando se trabaja con un alto volumen de datos (10000 bytes).

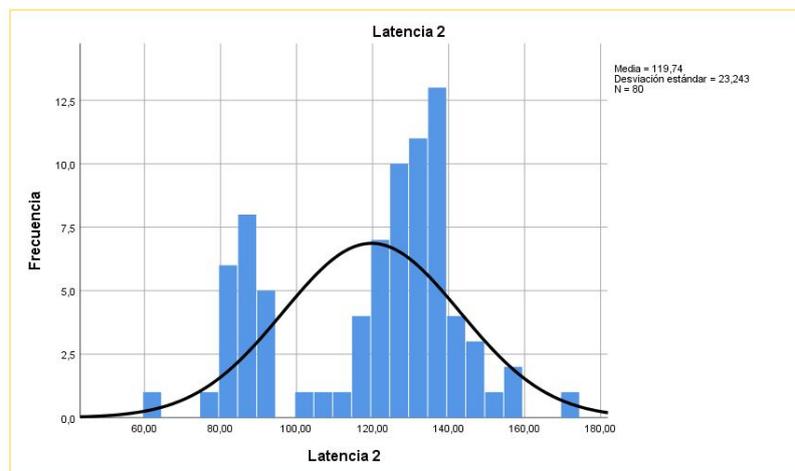


Figura 4.11: Variación de la latencia a 10000 bytes con 72 dispositivos.

Escenario 2.

Tenemos únicamente dispositivo conectados mediante cable UTP ver Fig. A.5, en este escenario se observa que los tiempos de latencia mejoran mucho, puesto que la cantidad de dispositivos conectados simultáneamente de manera física (cableada) ha sido reducido a 40 maquinas. De la misma manera se realiza el análisis estadísticos para observar como se comporta el rendimiento de la red.

En el cuadro 4.8, se observa que la media de los tiempos de latencia, para las distintas velocidades están por debajo de los 10ms como se ve en la Fig. 4.12, cuando el tamaño de paquetes de 100bytes, se presenta una mejora sustancial si se compara con

Cuadro 4.8: Valores de latencia promedio con un tamaño de paquete de 100bytes para el escenario 2 con 40 dispositivos.

Latencia 1 a 100 bytes									
Velocidad 1	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95 % del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
					Límite inferior	Límite superior			
25Mb	20	5,5	3,39504	0,75915	3,9111	7,0889	0	12	
40Mb	20	7,35	3,43779	0,76871	5,7411	8,9589	2	15	
50Mb	20	5,55	3,13679	0,70141	4,0819	7,0181	1	12	
100Mb	20	3,6	6,00351	1,34243	0,7903	6,4097	0	23	
Total	80	5,5	4,29306	0,47998	4,5446	6,4554	0	23	

el primer escenario. Correspondientemente estos valores de latencia varían en función al tamaño del paquete. (Ver el cuadro 4.9). Lo que se puede evidenciar graficamente en la Fig. 4.14

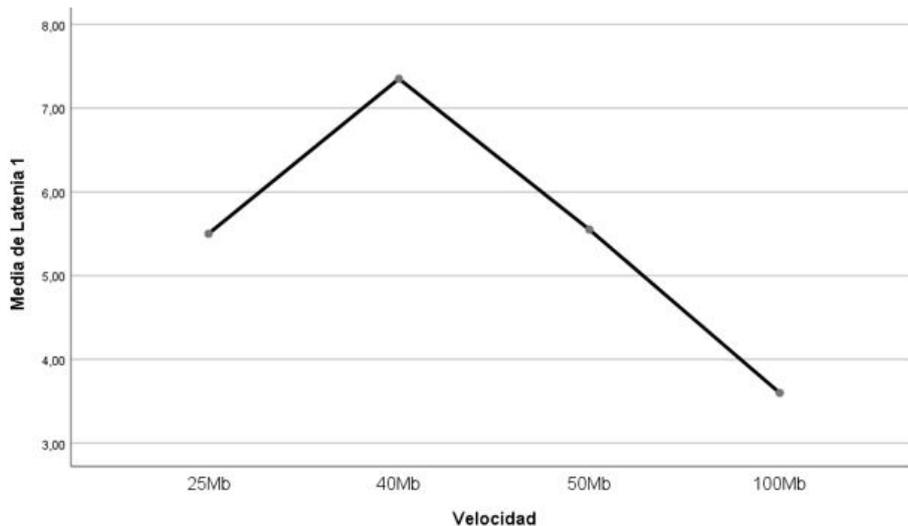


Figura 4.12: Medias de latencia con un tamaño de paquete de 100bytes para el escenario 2.

En el histograma de la Fig. 4.13 se observa como la tendencia de los datos se encuentra muy cerca de la media de 5ms, por lo que se puede decir que existe una distribución normal de latencia.

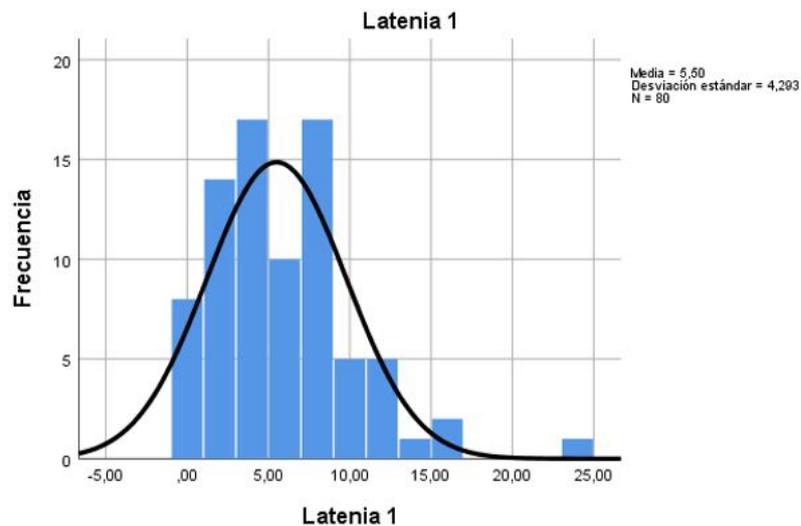


Figura 4.13: Variación de la latencia a 100 bytes con 40 dispositivos.

De acuerdo con los datos expuesto hasta ahora, se ve claramente que el tamaño del paquete o la información repercute directamente en los valores de la latencia, obteniendo un comportamiento similar, es decir, la latencia es directamente proporcional al tamaño del paquete e inversamente proporcional a la velocidad de trasmision, lo que se puede notar en el cuadro 4.9 y la Fig. 4.14.

Escenario 3.

Para el tercer escenario (A.6), se realizada prueba de conectividad, solo con dispositivos inalámbricos. Como es de esperarse los valores de latencia fluctúan parcialmente, para los dos casos que se realizan las pruebas con distintos tamaños de paquetes. Ver los cuadros 4.10 Y 4.11.

Cuadro 4.9: Valores de latencia promedio con un tamaño de paquete de 10000bytes para el escenario 2 con 40 dispositivos.

Latencia 2 a 10000bytes								
Velocidad	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95 % del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
25Mb	20	59,4	3,91219	0,87479	57,569	61,231	54	69
40Mb	20	48,25	6,33183	1,41584	45,2866	51,2134	28	57
50Mb	20	46,4	2,56289	0,57308	45,2005	47,5995	41	52
100Mb	20	37	4,5306	1,01307	34,8796	39,1204	28	46
Total	80	47,7625	9,16411	1,02458	45,7231	49,8019	28	69

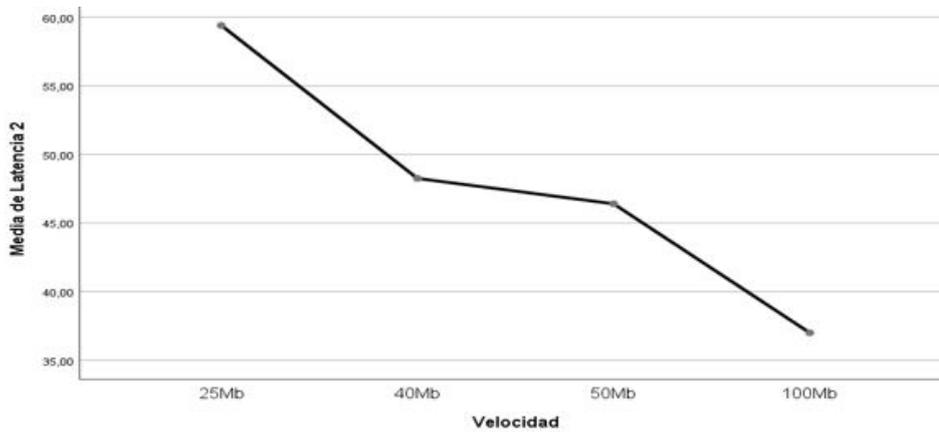


Figura 4.14: Medias de latencia con un tamaño de paquete de 10000bytes para el escenario 2.

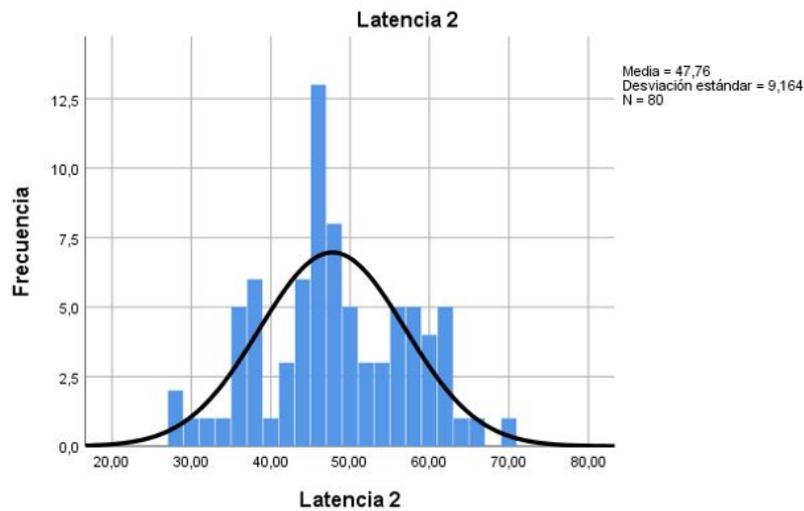


Figura 4.15: Variación de la latencia a 10000 bytes con 40 dispositivos.

Cuadro 4.10: Valores de latencia promedio con un tamaño de paquete de 100bytes para el escenario 3 con 40 dispositivos inalámbricos.

Latencia 1 a 100bytes									
Velocidad	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95 % del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
					Límite inferior	Límite superior			
25Mb	20	40,9	3,6835	0,8237	39,176	42,624	35	48	
40Mb	20	34	5,6475	1,2628	31,357	36,643	23	45	
50Mb	20	23,25	5,3299	1,1918	20,756	25,744	15	32	
100Mb	20	20,6	7,0293	1,5718	17,31	23,89	10	39	
Total	80	29,688	9,8785	1,1044	27,489	31,886	10	48	

A pesar que en el tercer escenario solo tenemos un total de 40 dispositivos, lo mismo que el escenario dos, la latencia se ve incrementada, esto es debido al tipo de conexión de los dispositivos, al ser una conexión inalámbrica es normal que los tiempos de latencia aumente parcialmente, lo que se puede ver en la 4.16. De igual manera se muestra en la Fig. 4.17, que la variación de la frecuencia es mucho más grande, se ve como los valores de latencia están dispersos, lejano de la media.

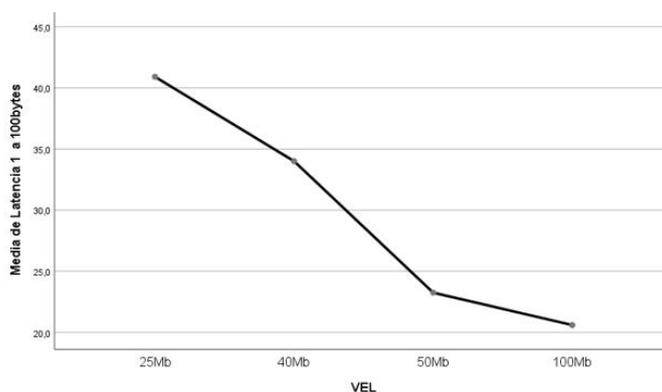


Figura 4.16: Medias de latencia con un tamaño de paquete de 100bytes para el escenario 3 con 40 dispositivos.

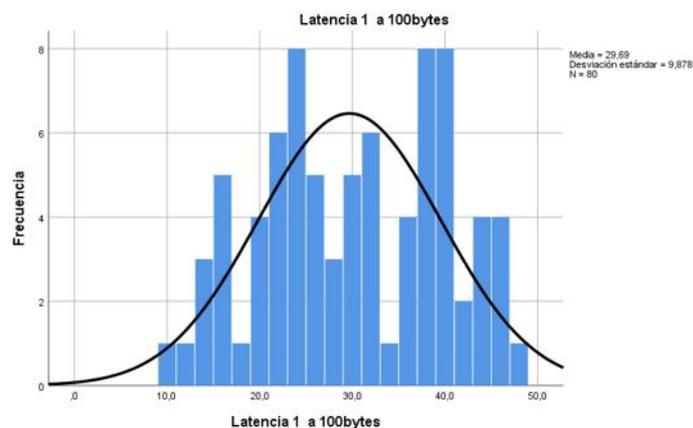


Figura 4.17: Variación de la latencia a 100 bytes con 40 dispositivos inalámbricos.

Cuadro 4.11: Valores de latencia promedio con un tamaño de paquete de 10000bytes para el escenario 3 con 40 dispositivos inalámbricos.

Latencia 2 a 10000bytes									
Velocidad	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95 % del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
					Límite inferior	Límite superior			
25Mb	20	96,3	4,6237	1,0339	94,136	98,464	89	105	
40Mb	20	98,25	22,2092	4,9661	87,856	108,644	11	127	
50Mb	20	88,5	6,4929	1,4519	85,461	91,539	78	102	
100Mb	20	74,6	3,9122	0,8748	72,769	76,431	65	80	
Total	80	89,413	15,0044	1,6775	86,073	92,752	11	127	

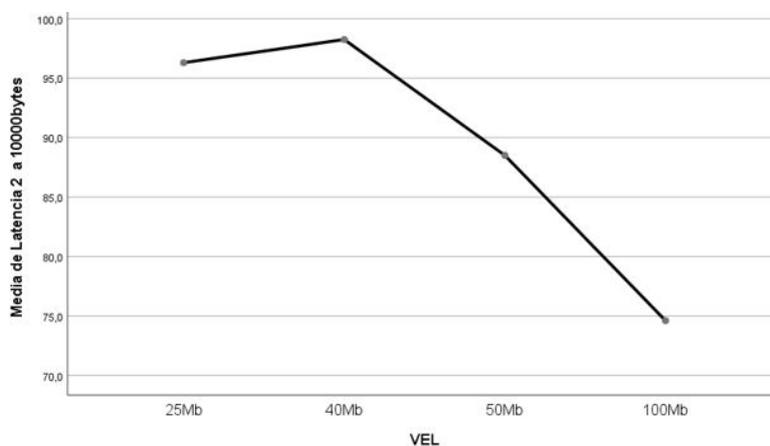


Figura 4.18: Medias de latencia con un tamaño de paquete de 10000 bytes para el escenario 3.

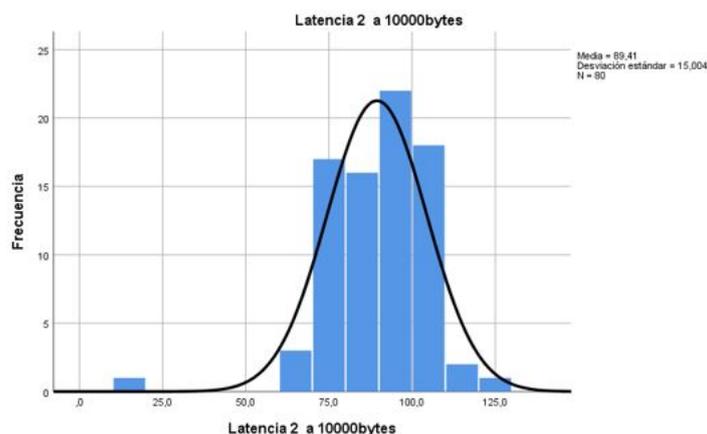


Figura 4.19: Variación de la latencia a 10000 bytes con 40 dispositivos inalámbricos.

En la Tabla 4.12 se presenta un resumen de las medias de los tiempos de latencia de cada uno de los escenarios que se efectuaron la prueba de conectividad. Donde se puede concluir que el diseño para la red LAN local cuenta con tiempos de latencia bastante aceptables, por lo que se encuentra por debajo de los 100ms, salvo el caso del escenario 3 que cuenta con dispositivos inalámbricos.

Cuadro 4.12: Cuadro comparativo de las medias de latencia de los escenarios.

Estadísticos	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
	Latencia 1 a 100bytes	Latencia 2 a 10000bytes	Latencia 1 a 100bytes	Latencia 2 a 10000bytes	Latencia 1 a 100bytes	Latencia 2 a 10000bytes
N						
Válido	80	80	80	80	80	80
Perdidos	0	0	0	0	0	0
Media	29,688	89,413	5,5000	47,7625	17,8500	119,7375
Mediana	30,000	91,000	5,0000	47,0000	17,0000	128,0000
Moda	38,0a	103,0	8,00	46,00	13,00	135,00
Desv. Desviación	9,8785	15,0044	4,29306	9,16411	4,66362	23,24321
Varianza	97,585	225,131	18,430	83,981	21,749	540,247
Rango	38,0	116,0	23,00	41,00	20,00	111,00
Mínimo	10,0	11,0	0,00	28,00	11,00	62,00
Máximo	48,0	127,0	23,00	69,00	31,00	173,00
Suma	2375,0	7153,0	440,00	3821,00	1428,00	9579,00

4.4. Comprobación de Hipotesis.

Para la validación de la hipótesis se usa la prueba estadística de ANOVA que permite evaluar los datos con observaciones múltiples, ideal para comparación de medias de distintos grupos.

A continuación se presenta las tablas de ANOVA para los diferentes grupos, es decir, para los diferentes escenarios elaborados anteriormente.

Cuadro 4.13: *P-valor para el escenario 1 caso 1.*

Latencia 1					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	367,500	3	122,500	6,893	0,000
Dentro de grupos	1350,700	76	17,772		
Total	1718,200	79			

Cuadro 4.14: *P-valor para el escenario 1 caso 2.*

Latencia 2					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	31720,338	3	10573,446	73,325	0,000
Dentro de grupos	10959,150	76	144,199		
Total	42679,488	79			

Cuadro 4.15: *P-valor para el escenario 2 caso 1.*

Latencia 1					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	140,700	3	46,900	2,710	0,051
Dentro de grupos	1315,300	76	17,307		

Cuadro 4.16: P- vlor para el escenario 2 caso 2.

Latencia 2					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	31720,338	3	10573,446	73,325	0,000
Dentro de grupos	10959,150	76	144,199		
Total	42679,488	79			

Cuadro 4.17: P- valor para el escenario 3 caso 1.

Latencia 1 a 100bytes					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	5366,838	3	1788,946	58,044	0,000
Dentro de grupos	2342,350	76	30,820		
Total	7709,188	79			

Cuadro 4.18: P- vlor para el escenario 3 caso 2.

Latencia 2 a 10000bytes					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	6915,638	3	2305,213	16,118	0,000
Dentro de grupos	10869,750	76	143,023		
Total	17785,388	79			

Hipótesis nula.

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

μ_1 = Latencia promedio a 25Mbps.

μ_2 = Latencia promedio a 45Mbps.

μ_3 = Latencia promedio a 50Mbps.

μ_4 = Latencia promedio a 100Mbps.

Hipotesis alternativa.

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$

Puesto que el p-valor es igual a 0.000 es menor que 0.05 para cada uno de los escenarios se rechaza H_0 , es decir, el promedio de la latencia a distintas velocidades (25Mbps, 40Mbps 50Mbps y 100Mbps) y al tamaño (100bytes y 10000bytes), de paquete son significativamente diferentes.

Capítulo 5

Conclusiones y trabajos futuros

5.1. Conclusiones

Sin duda alguna existen diferentes medios para proveer servicios tecnológicos de información, no obstante, en su mayoría son pocos aplicables en el caso de comunidades rurales tanto por sus costos así como por la dificultad de acceso, debido a esto, el presente proyecto consideran el sistema V-SAT como aplicable para este caso específico. Como se ha explicado, es factible y permitirá lograr el objetivo, que es el de ofrecer a la escuela de una alternativa de conexión para sus operaciones, obtención de información y otras actividades de desarrollo. El objetivo principal de esta tesis ha sido proporcionar el diseño de un sistema para el acceso a internet que satisfaga a la capacidad de equipos y dispositivos conectados a la misma.

Los requerimientos técnicos, principalmente la capacidad que brinda la asistencia satelital para adaptarse a las velocidades ofrecida por los operadores de telecomunicaciones, la convierten en una verdadera alternativa a tener en cuenta a la hora de elegir. Los múltiples beneficios que brinda la tecnología utilizada y descrita en este proyecto, así como la capacidad de adaptarse a entornos adversos, hacen que cualquier persona que elija un medio satelital pueda aprovechar los múltiples beneficios que brinda.

De esta manera, cumpliendo cada uno de los objetivos del estudio se puede concluir lo siguiente:

- Se estudió cada una de las características y configuraciones de redes con tecnología VSAT, de igual forma se consideró criterios técnicos para la selección de equipos de bajo costo pero de alto rendimiento para elaborar el diseño de la red que abastezca a la capacidad de la misma.
- Lo importante en el diseño del presupuesto del enlace, desde el punto de vista técnico es que: en la estación terrena se tengan un valor adecuado del parámetro C/N (nivel de potencia recibido de la señal de información sobre el nivel de potencia de ruido introducido en el trayecto) o a su vez el parámetro de Eb/No

para señales digitales (energía de bit de información transmitido entre la densidad de ruido), que fija el valor de probabilidad de bits errados (BER). Para optimizar un sistema de radiocomunicaciones se debe maximizar la tasa de transmisión, minimizar la probabilidad de error de bit, minimizar la potencia requerida (esto implica minimizar a E_b/N_0), minimizar el ancho de banda requerido, minimizar la complejidad del sistema, etc.

- Se logró realizar el dimensionamiento de la red VSAT de acuerdo a los lineamientos y requerimientos establecidos con anterioridad, utilizando herramientas de software, que ayudaron a validar los cálculos matemáticos realizados, de mucha importancia para poder determinar la factibilidad y viabilidad del proyecto.

5.2. Trabajos futuros

En el proceso de la elaboración de esta tesis han surgido algunas líneas futuras que se han dejado abiertas y que se esperan atacar en un futuro; algunas de ellas, están más directamente relacionadas con este trabajo de tesis y son el resultado de cuestiones que han ido surgiendo durante la realización de la misma. Otras, son líneas más generales que, sin embargo, no son objeto de esta tesis; estas líneas pueden servir para retomarlas posteriormente o como opción a trabajos futuros para otros investigadores.

Como continuación de este trabajo de tesis y como en cualquier otro proyecto de investigación, existen diversas líneas de investigación que quedan abiertas y en las que es posible continuar trabajando. Se puede dar a continuación a este proyecto, realizando la implementación del mismo en su totalidad, para ello, se debe adecuar un espacio (una aula) para la colocación de un laboratorio de computación, que satisfaga a la demanda de la población estudiantil de la escuela, ya que en la actualidad la escuela no cuenta.

Por otro lado se puede expandir el proyecto, es decir llevar esta solución tecnológica a otras comunidades y escuelas rurales, para seguir así reduciendo la brecha digital que afecta a los alumnos y comuneros de zonas aisladas.

Apéndice A

Anexos

hispasat[•]

t +34 91 710 25 40
Pº de la Castellana, 39 / 28046 Madrid / Spain
www.hispasat.com



Figura A.1: Mapa de de cobeeitura del satélite

Interfaz de la herramienta Satellite Link Budget Analyzer

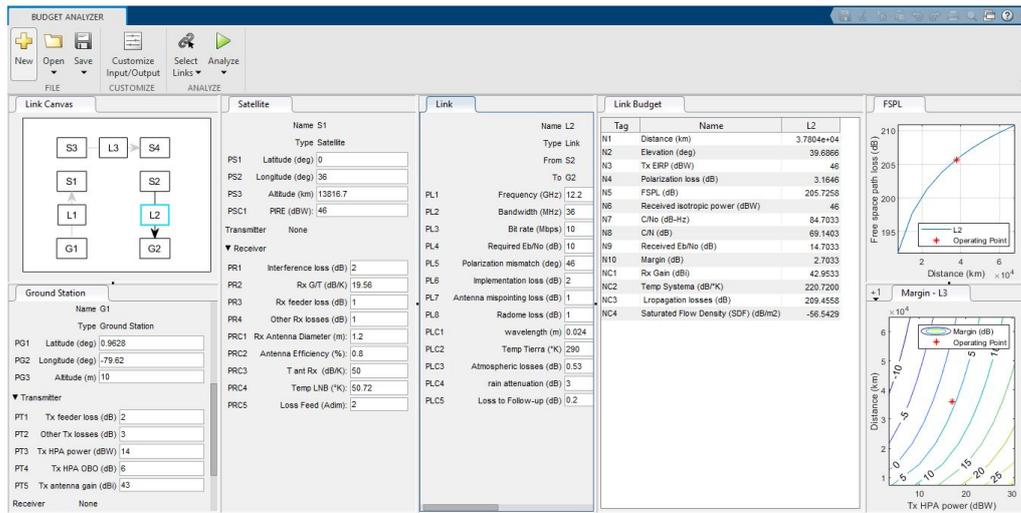


Figura A.2: Satellite Link Budget Analyzer - Aplicación para el presupuesto del enlace.

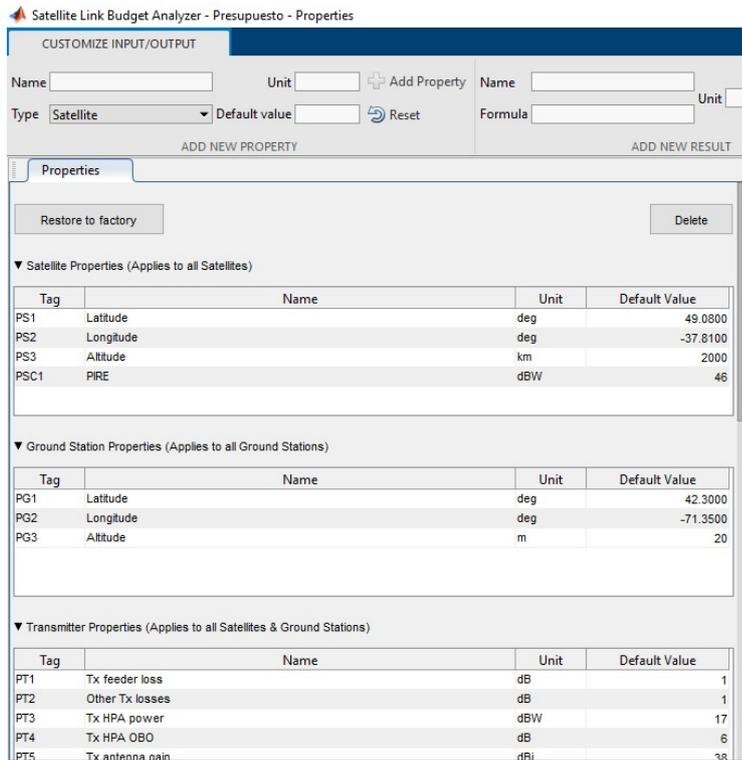


Figura A.3: Configuración de las propiedades de los parámetros

Pruebas de conectividad

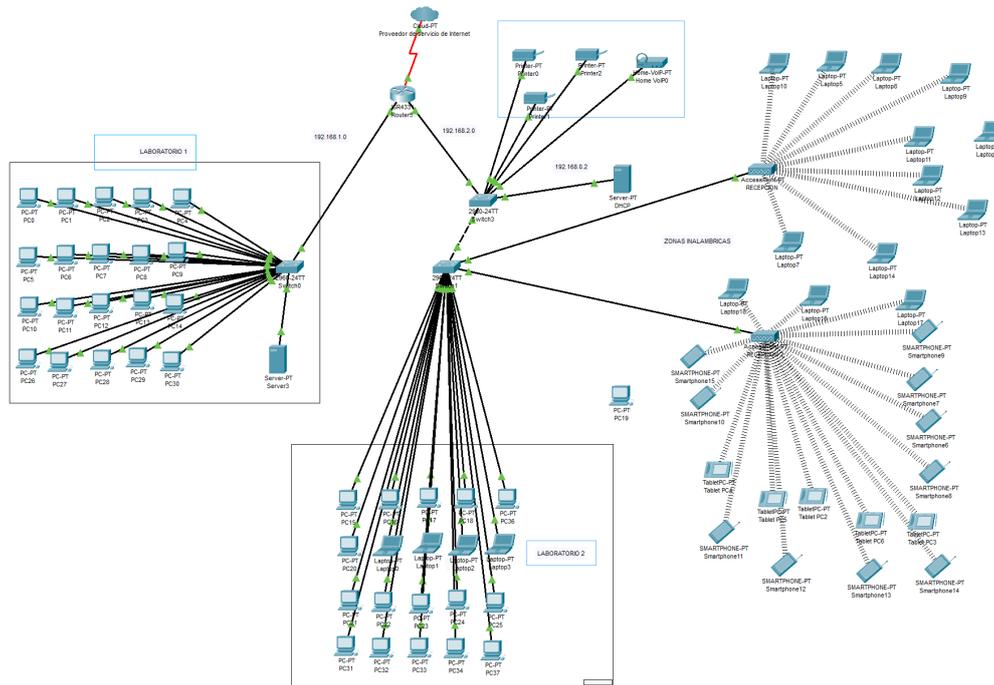


Figura A.4: Escenario 1 con 72 dispositivos

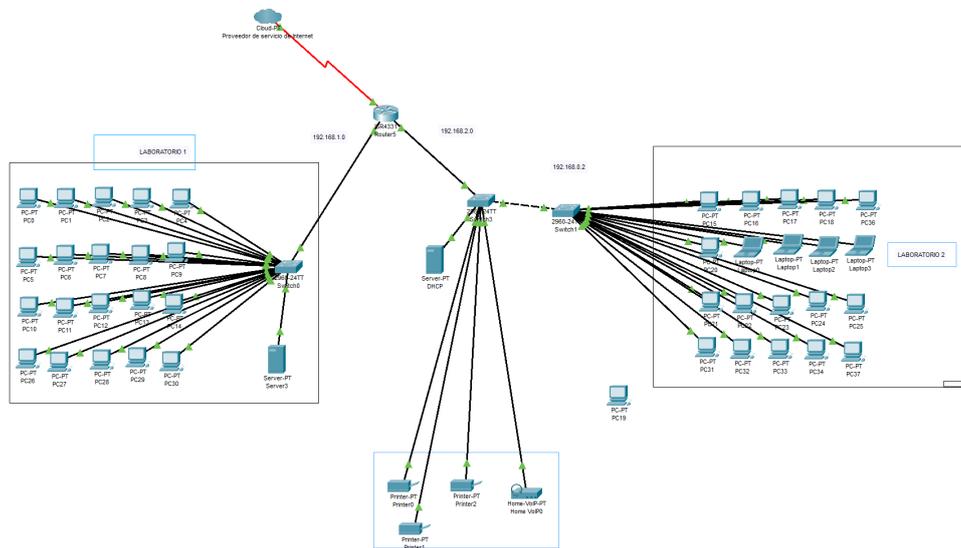


Figura A.5: Escenario 2 con 40 dispositivos

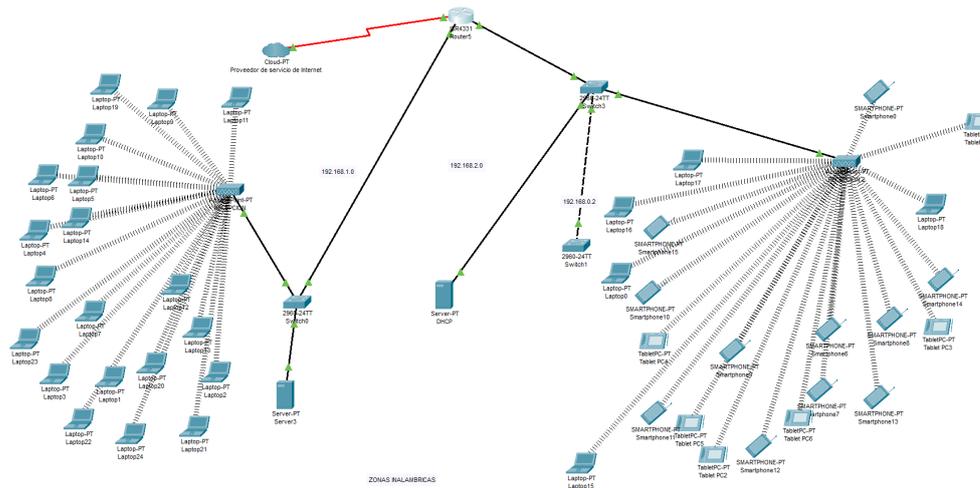


Figura A.6: Escenario 3 con 40 dispositivos inalabricos

Visita y Recorrido de la Escuela



Figura A.7: Entrada principal.



Figura A.8: Pabellones de aulas.



Figura A.9: Area de recreación.



Figura A.10: Canchas deportivas.

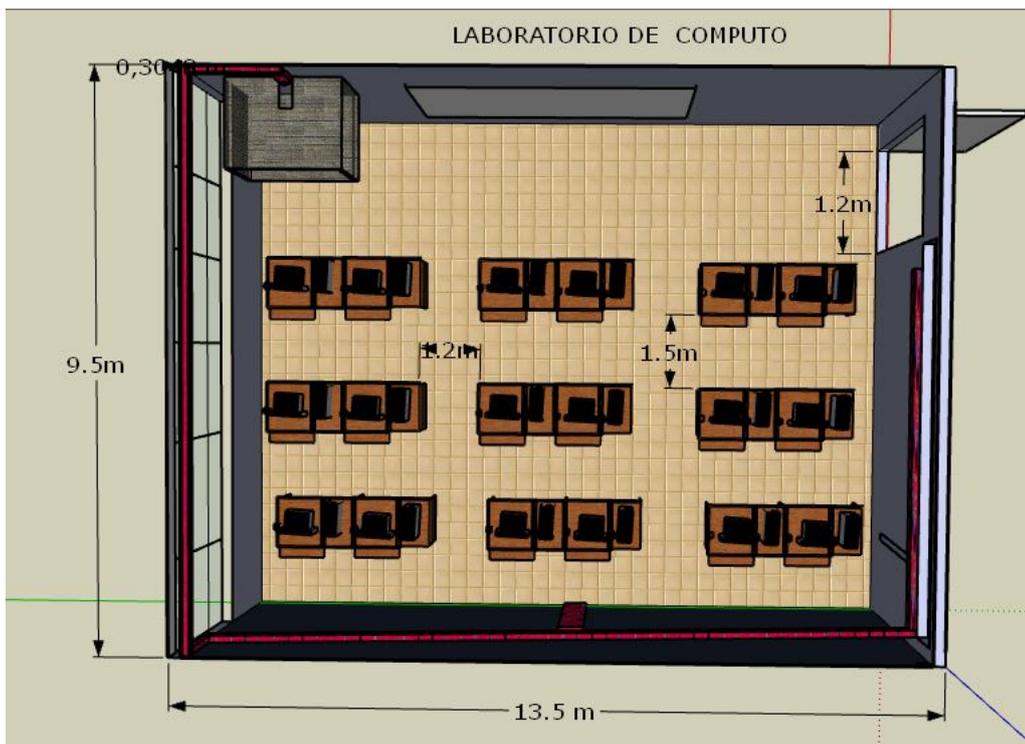


Figura A.11: Modelado de laboratorio de computo.

Bibliografía

- [1] D. D. Posligua Sanchez, “Puesta en marcha y análisis integral de un sistema entrenador de comunicaciones satelitales y de telefonía para el laboratorio de comunicaciones de la eie-tr.” B.S. thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2018.
- [2] G. J. M. Valarezo, L. Achig, J. Ruilova, and R. Vinueza, “Estudio de cobertura del programa espacial de monitoreo de desastres naturales “copernicus” en países de latinoamérica,” *Revista Perspectivas*, vol. 2, no. 1, pp. 25–32, 2020.
- [3] P. Pascual García, “Modelos de análisis y diseño de dispositivos en guía integrada en sustrato para banda ku,” B.S. thesis, 2012.
- [4] M. A. SÁNCHEZ NANDAYAPA, E. BECK CANO, and S. D. DÍAZ DOMÍNGUEZ, “Programa e-mexico internet satelital y programa ruralsat telefonia satelital,” Tech. Rep., 2011.
- [5] *Single LNB*, Multicom,Inc, 2015, rev. D. [Online]. Available: <https://www.multicominc.com/wp-content/uploads/MUL-SINGLE-LNB-.5-Spec.pdf>
- [6] *Dish 1,2 Meter DTH satélite*, Multicom,Inc, 2017, rev. D. [Online]. Available: https://www.multicominc.com/wp-content/uploads/MUL-1.2M-KU-Satellite-Dish-and-Mount-Manual-v1a10_TS.en..es..pdf
- [7] R. I. Lopez Ramos, T. Luque *et al.*, “Multimedia interactiva a distancia,” Ph.D. dissertation, 2010.
- [8] D. Moncada and J. R. Fermin, “Atenuación por lluvia en un sistema de comunicación estación-satélite,” *Télématique*, vol. 7, no. 1, pp. 29–40, 2008.
- [9] D. F. Benítez Ruano and A. M. Martínez Mendieta, “Diseño de un backbone inalámbrico para una red de voz datos y video en base al estándar ieee 802.16 (wimax) y acceso de última milla considerando aspectos de calidad de servicio para la provincia de galápagos,” B.S. thesis, QUITO/EPN/2013, 2013.
- [10] J. P. Vilorio Porto, “Diseño e implementación de una red de área local (lan) con cableado estructurado de datos para la oficina de trainees de la empresa idi electrónica ubicada en el distrito de san luis en lima (perú),” 2018.

- [11] M. D. L. Á. Trejo Macías, “Análisis de la infraestructura tecnológica utilizada por la empresa trejguinter sa para brindar un mejor servicio a los antiguos y futuro clientes en el área rural del cantón vices.” B.S. thesis, Babahoyo: UTB-FAFI. 2022, 2022.
- [12] *Pharos CPE Series*, Tp-Link, 2019, rev. D. [Online]. Available: <https://static.tp-link.com/2020/202003/20200324/CPE%20series-Datasheet.pdf>
- [13] M. E. Sachiavala Noticia Baptista, “Dimensionamiento de redes vsat,” Ph.D. dissertation, Universidad Central”Marta Abreu”de Las Villas, Facultad de Ingeniería . . . , 2019.
- [14] X. A. Sánchez Rodríguez and G. A. Heredia Castro, “Diseño e implementación de un banco de pruebas satelitales de la banda c utilizando radios definidas por software.” B.S. thesis, 2021.
- [15] M. Lorenzo Mediero, “Estudio sobre los retos y oportunidades de los satélites hispasat en la región de américa latina y desarrollo de una web de difusión de resultados,” 2017.
- [16] W. Bravo, “Estudio de tcp sobre enlaces satelitales y del estándar dvb-s, orientado a aplicaciones de transmisión de datos,” 2005.
- [17] G. Siles and D. Chirinos, “Estimación de intensidad de lluvia para estudios de propagación radioeléctrica en bolivia,” *Investigación & Desarrollo*, vol. 18, no. 1, pp. 69–79, 2018.
- [18] W. Tomasi, *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Pearson educación, 2003.
- [19] “Enlace de retorno alternativo para la red celular comunitaria en áreas costeras rurales,” in *2019 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*.
- [20] A. C. A. García, “Diseño de una red satelital multibanda de banda ancha para comunicaciones en el Perú,” Ph.D. dissertation, Pontificia Universidad Católica del Perú-CENTRUM Católica (Peru), 2019.
- [21] S. DE TELECOMUNICACIÓN, “Diseño de un prototipo de red vsat con calidad de servicio basado en sdn.”
- [22] G. D. Cardenas Calderón, “Diseño de una red vsat para la interconexión de las sucursales para la empresa seguros colonial,” B.S. thesis, QUITO/EPN/2011, 2011.
- [23] J. Benavides Bailón and M. C. Álava Rivas, “Estrategias para la reducción de la brecha digital. caso infocentro del cantón rocafuerte, provincia de manabí, ecuador. 2018,” *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, no. diciembre, 2018.

- [24] A. E. Palacios-Dueñas, J. M. Loor-Peña, K. M. Macías-Macías, and W. R. Ortega-Macías, “Incidencia de la tecnología en el entorno educativo del ecuador frente a la pandemia del covid-19,” *Polo del Conocimiento*, vol. 5, no. 10, pp. 754–773, 2020.
- [25] É. Jaillier Castrillón *et al.*, “Comunicación, sociedad del conocimiento y ciudad,” 2020.
- [26] G. A. Peñafiel Ricaurte, A. F. Espinosa Missura *et al.*, “Implementación de enlaces de banda ancha usando tecnología satelital vsat hughesnet (direcway) en ecuador,” B.S. thesis, Quito: USFQ, 2010, 2010.
- [27] Y. I. Benítez Morejón, “Análisis prospectivo de las tecnologías de telecomunicaciones en ecuador (escenario 2020) y diseño de estrategias para la corporación nacional de telecomunicaciones cnt ep,” Master’s thesis, Quito: EPN, 2014., 2014.
- [28] C. E. Armas Pérez, M. E. Camacho Zeas *et al.*, “Propuesta para un plan de expansión de telecomunicaciones para sectores rurales y urbano marginales de las provincias de napo y orellana. diseño de un modelo en negocios para su implementación,” B.S. thesis, Quito: USFQ, 2011, 2011.
- [29] N. Dávalos, “Solo el 45,5 % de hogares en ecuador tiene acceso a internet,” 2020.
- [30] E. Pérez-López, A. V. Atochero, and S. C. Rivero, “Educación a distancia en tiempos de covid-19: Análisis desde la perspectiva de los estudiantes universitarios,” *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, vol. 24, no. 1, pp. 331–350, 2021.
- [31] M. V. D. Romero and M. Duque, “La realidad de la educación en línea en ecuador en época del covid 19.”
- [32] A. Gómez, “De la educación a distancia a la educación virtual,” 2020.
- [33] J. A. Pérez, “La observación satelital como práctica de información para el desarrollo sustentable,” *Artículo recuperado de https://www.ecoportel.net/temas-especiales/desarrollosustentable/la_observacion_satelital_como_practica_de_la_informacion_para_el_desarrollo_sustentable*, 2006.
- [34] D. D. C. Sambache, M. C. V. Villalba, and J. V. A. Cevallos, “Brecha digital: conectividad y equipamiento en instituciones de educación fiscal en ecuador,” *GI-GAPP Estudios Working Papers*, vol. 7, no. 166-182, pp. 758–770, 2020.
- [35] R. F. Llorente, “Comunicaciones wcdma por satélite,” 2010.
- [36] D. F. Gusqui Carguacundo and J. U. Cabrera Meléndez, “Diseño e implementación de un enlace de comunicación satelital para transmisión y recepción de voz y datos, basados en radio amateur en espacio.” B.S. thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2019.

- [37] A. E. Noa Ataypoma, “Modelo de enlace satelital para la cobertura móvil en la localidad de telapaccha–acobambilla–huancavelica,” 2018.
- [38] F. Bermejo Sánchez, “Aplicación gráfica para el cálculo del balance de enlace en redes vsat,” B.S. thesis, 2015.
- [39] J. Rocha Christian, “Dimensionamiento de redes vsat,” Ph.D. dissertation, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, 2008.
- [40] S. N. Baptista and M. Elizeth, “Dimensionamiento de redes vsat,” Ph.D. dissertation, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Facultad de Ingeniería . . . , 2019.
- [41] J. Alvarez, M. Z. Haro, J. Ruilova, and R. Vinueza, “Estudio del impacto de la troposfera sobre la señal de gps l1 en la ciudad de riobamba,” *Revista Perspectivas*, vol. 2, no. 1, pp. 38–44, 2020.
- [42] J. Morán and P. Vargas, “La tecnología dvb-ip orientada hacia la teleeducación,” 2009.
- [43] C. R. Nader, “Margot solberg.”
- [44] *HISPASAT colabora con el gobierno de Ecuador en el cierre de su brecha digital con dos proyectos piloto de teleeducación y telemedicina vía satélite*, Grupo Hispasat, 2021, not. P. [Online]. Available: <https://www.hispasat.com/es/sala-de-prensa/notas-de-prensa/archivo-2021/424/hispasat-colabora-con-el-gobierno-de-ecuador-en-el-cierre-de-su-brecha-digital-con-dos-proyectos>
- [45] J. Villanueva, M. Bueno, J. Simón, M. Molinas, J. Flores, and P. Méndez, “Aplicación de la transformada de hilbert-huang en el análisis de señales de comunicación satelital,” *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol. 17, no. 2, pp. 181–189, 2020.
- [46] Grupo Hispasat. (Abril de 2017) <https://www.hispasat.com/es/flota-de-satelites/hispasat>
- [47] I. R. Assembly, “Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción,” *Recomendación ITU-R PN. 838*, vol. 3, 2005.
- [48] A. V. Pardo Ríos and B. D. Santos Suárez, “Diseñar e implementar una red gpon y arquitectura ftth aplicando los estándares ansi/tia/eia-568-b. 3 y tia 598-a, en la facultad de sistemas y telecomunicaciones,” B.S. thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2020, 2020.
- [49] A. Abad Martín, P. Pintó Marín, and M. A. Salas Natera, “From large platforms at geo to small satellite at leo for satellite communications,” 2019.
- [50] I. Publications, “Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas de telecomunicación tierra-espacio,” 2017.

- [51] P. Bayón Gala, “Simulador en python para el cálculo de pérdidas de propagación según la rec. itu-r p. 530,” 2019.