



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

Tema:

**FACTIBILIDAD INTEGRAL PARA CONSTRUIR UN PROVEEDOR DE
ACCESO A INTERNET PAI UNIVERSITARIO EN EL CAMPUS HUACHI-
UTA**

Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, presentado previo a la
obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones

ÁREA: Programación y Redes

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías de la información y Sistemas de
Control

AUTOR: Oscar Rafael Chipugsi Calero

TUTOR: Ing. Tatiana Paola Zambrano Valverde, Mg.

Ambato - Ecuador

julio – 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: FACTIBILIDAD INTEGRAL PARA CONSTRUIR UN PROVEEDOR DE ACCESO A INTERNET PAI UNIVERSITARIO EN EL CAMPUS HUACHI-UTA, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Oscar Rafael Chipugsi Calero, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 7.4 del instructivo del reglamento referido.

Ambato, julio 2026.



Ing. Tatiana Paola Zambrano Valverde, Mg.

TUTOR

AUTORIA

El presente Proyecto de Investigación titulado: FACTIBILIDAD INTEGRAL PARA CONSTRUIR UN PROVEEDOR DE ACCESO A INTERNET PAI UNIVERSITARIO EN EL CAMPUS HUACHI-UTA es absolutamente original, autentico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, julio 2026.



Oscar Rafael Chipugsi Calero

C.C. 050294353-3

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y proceso de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, julio 2026.



Oscar Rafael Chipugsi Calero

C.C. 050294353-3

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por el señor Oscar Rafael Chipugsi Calero, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado FACTIBILIDAD INTEGRAL PARA CONSTRUIR UN PROVEEDOR DE ACCESO A INTERNET PAI UNIVERSITARIO EN EL CAMPUS HUACHI-UTA, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 7.6 del instructivo del reglamento referido. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con el señor Presidente del Tribunal.

Ambato, julio 2026.



Validar sólo en FirmaEC.
Firmado Electrónicamente por:
**FRANKLIN OSWALDO
MAYORGA MAYORGA**

Ing. Franklin Oswaldo Mayorga Mayorga, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



**Victor Santiago
Manzano Villafuerte**



**Jose Vicente
Morales Lozada**



Ing. Víctor Santiago Manzano Villafuerte Mg. Ing. José Vicente Morales Lozada PhD.
PROFESOR CALIFICADOR PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mis padres, cuyo amor no requiere explicación ni merece ser explicado en palabras, pero cuya presencia lo ha sido todo. Cada madrugada de estudio, cada duda que quiso detenerme y cada pequeño avance celebrado en silencio lleva tatuado bajo la piel su huella. Este logro no es mío: es el resultado de lo que sembraron en mi con paciencia, sacrificio y una fe inquebrantable.

A mi familia, manos invisibles que sostienen sin pedir nada a cambio, que convierte los sueños individuales en metas compartidas.

A esa presencia que no tiene nombre único pero que habita en lo más profundo de cada ser humano: esa sabiduría que guía sin imponer, que ilumina sin cegar y recuerda en los momentos de mayor duda, que existe un orden y un propósito detrás de cada proceso.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, el agradecimiento más profundo que puedo ofrecer. No solo por el sustento material que hizo posible mi formación académica, sino por algo de mayor valor: por enseñarme que el carácter se construye antes que la carrera, que la honestidad es el único fundamento sobre el que vale la pena edificar y que el fracaso, bien comprendido, es simplemente la antesala del aprendizaje.

A mi familia, por la paciencia de convivir con alguien que a veces estuvo más presente en sus ideas que en las conversaciones cotidianas. Por comprender que el camino académico exige silencios, ausencia y noches largas, y por acompañar ese proceso con comprensión genuina y afecto constante.

A la Ingeniera Tatiana Zambrano, tutora del presente trabajo, por la orientación técnica rigurosa, por la disposición al diálogo académico.

A la Universidad Técnica de Ambato, y a cada docente que, más allá del contenido de sus asignaturas, transmitió una forma de pensar, de cuestionar y de proponer. La formación recibida en estas aulas trasciende la ingeniería: es una manera de acercarse al mundo

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA.....	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN EJECUTIVO	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Tema de investigación.....	1
1.1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Antecedentes investigativos	3
1.3 Fundamentación teórica	5

1.3.1 Proveedor de Acceso a Internet (PAI) y cadena de valor de Internet	5
1.3.2 Fundamentos de arquitectura de red para un PAI universitario	7
1.3.3 Gestión, Operación y Calidad del Servicio	9
1.3.4 Seguridad y Gobierno de red.....	11
1.3.5 Viabilidad Integral: Técnica, Económica, Legal y Social.....	13
1.3.6 Modelo de Despliegue y Operación.....	14
1.3.7 Marco Legal y Normativo en Ecuador.....	16
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Objetivo general	18
1.4.2 Objetivos específicos	18
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	19
2.1 Materiales	19
2.1.1 Normas y estándares técnicos internacionales	19
2.1.2 Bases de Datos Estadísticos e Institucionales	20
2.1.3 Software y Herramientas de Medición.....	21
2.2 Métodos.....	22

2.2.1 Modalidad de la investigación	22
2.2.2 Población y muestra	25
2.2.3 Recolección de información.....	27
2.2.4 Procesamiento y análisis de datos	28
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
3.1 Análisis y discusión de resultados.....	31
3.1.1 Resultados del Objetivo específico 1: Identificación de necesidades de conectividad e infraestructura existente en el Campus Huachi-UTA	31
3.1.2 Resultados del objetivo específico 2: Diseño de la arquitectura Objetivo del PAI universitario	37
3.1.3 Resultado del Objetivo Especifico 3: Validación de la Factibilidad Integral del PAI	56
3.1.4 Integración de resultados.....	69
3.2 Verificación de Hipótesis	70
3.2.1 Identificación de la Hipótesis del Proyecto.....	70
3.2.2 Evaluación de la Hipótesis con Base en los Resultados	71
3.2.3 Decisión sobre la hipótesis.....	72
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
4.1 Conclusiones	74
4.2 Recomendaciones.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Población universitaria Campus Huachi UTA por facultad año 2026.....	25
Tabla 2. Datos generales de la parroquia Celiano Monge año 2026.....	26
Tabla 3. Síntesis del proceso de recolección de información	28
Tabla 4. Distribución de usuarios por facultad, Campus Huachi-UTA, 2026	33
Tabla 5. Carga de dispositivos de red para el año 2026.....	36
Tabla 6. Proyección de estudiantes al año 2030 campus Huachi.....	44
Tabla 7. Carga estimada de la red para el año 2030.....	46
Tabla 8. Dimensionamiento de Access Points por facultad 2026.....	48
Tabla 9. Dimensionamiento de Access Points por facultad 2030.....	48
Tabla 10. Distribución de APs existentes vs distribución de demanda	50
Tabla 11. Pérdidas por inserción (componentes pasivos)	51
Tabla 12. Balance de pérdidas del enlace óptico, escenario critico	53
Tabla 13. Tabla de validación técnica integral del diseño PAI.....	56
Tabla 14. CAPEX Infraestructura Pasiva del PAI universitario	58
Tabla 15. CAPEX Equipamiento activo del PAI universitario.....	59
Tabla 16. CAPEX Equipamiento del cliente, PAI universitario.....	60
Tabla 17. CAPEX Mano de obra para el PAI universitario.....	61
Tabla 18. CAPEX Administrativos del PAI universitario	61
Tabla 19. CAPEX Total del PAI universitario	62

Tabla 20. Estructura de costos OPEX del PAI universitario	62
Tabla 21. Precios de planes básicos de internet del mercado en Ambato.....	63
Tabla 22. Tasa de adopción del mercado estimado.....	64
Tabla 23. Supuestos del modelo financiero	65
Tabla 24. Ingresos anuales PAI universitario	65
Tabla 25. OPEX anual del PAI universitario	66
Tabla 26. Flujo de caja libre FCL del PAI universitario.....	67
Tabla 27. Factores de descuento por año	67
Tabla 28. Valor Presente (VP) de cada año	68
Tabla 29. VAN acumulado año a año	68
Tabla 30. Calculo iterativo TIR	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución poblacional por facultad del campus Huachi.....	32
Figura 2. Densidad poblacional Campus Huachi año 2026	33
Figura 3. Comparación número de estudiantes vs número de APs por facultad del campus Huachi.	37
Figura 4. Red de distribución PAI universitario parroquia Celiano Monge	40
Figura 5. Red de dispersión del PAI universitario en la parroquia Celiano Monge ..	41
Figura 6. Diagrama esquemático planta externa parroquia Celiano Monge	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Documentos	85
---------------------------	----

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación evalúa la factibilidad integral para la implementación de un Proveedor de Acceso a Internet (PAI) universitario en el Campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato (UTA). La propuesta surge ante la necesidad de mejorar la calidad, cobertura y gestión de los servicios de conectividad institucional, debido a la saturación de la red inalámbrica, la distribución desigual de los puntos de acceso y el incremento sostenido de usuarios y dispositivos conectados.

El proyecto plantea el diseño de una infraestructura propia basada en tecnología XGS-PON y Wi-Fi 6, capaz de atender las necesidades actuales y futuras de la comunidad universitaria mediante una red escalable, segura y administrada por la institución. Además de fortalecer los procesos académicos, investigativos y administrativos, la propuesta contempla una visión estratégica de crecimiento que permita convertir al PAI en una unidad de producción universitaria, ofreciendo servicios de acceso a Internet a los sectores aledaños al Campus Huachi, especialmente en la parroquia Celiano Monge.

Los resultados demuestran la viabilidad técnica, económica, operativa y regulatoria del proyecto. El análisis financiero presenta indicadores favorables, con una inversión estimada de USD 132.500, un Valor Actual Neto (VAN) positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior al costo de oportunidad. Asimismo, la iniciativa contribuye a reducir la brecha digital en la comunidad, fortalece la vinculación con la sociedad y genera una alternativa sostenible de ingresos para la universidad, consolidando un modelo de conectividad con impacto académico, social y económico.

Palabras clave: XGS-PON, fibra óptica, PAI universitario, presupuesto óptico, factibilidad integral, red de acceso pasiva.

ABSTRACT

This research evaluates the comprehensive feasibility of implementing a university Internet Access Provider (IAP) at the Huachi Campus of the Technical University of Ambato (UTA). The proposal arises from the need to improve the quality, coverage, and management of institutional connectivity services, due to wireless network saturation, uneven distribution of access points, and the sustained increase in users and connected devices.

The project proposes the design of a dedicated infrastructure based on XGS-PON and Wi-Fi 6 technologies, capable of meeting the current and future needs of the university community through a scalable, secure network managed by the institution. In addition to strengthening academic, research, and administrative processes, the proposal includes a strategic growth vision that would allow the IAP to become a university production unit, offering internet access services to the areas surrounding the Huachi Campus, especially the Celiano Monge parish.

The results demonstrate the technical, economic, operational, and regulatory viability of the project. The financial analysis shows favorable indicators, with an estimated investment of USD 132,500, a positive Net Present Value (NPV), and an Internal Rate of Return (IRR) exceeding the opportunity cost. Furthermore, the initiative helps bridge the digital divide in the community, strengthens ties with society, and generates a sustainable revenue stream for the university, consolidating a connectivity model with academic, social, and economic impact.

Keywords: XGS-PON, optical fiber, university PAI, optical power budget, integral feasibility, passive access network.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

FACTIBILIDAD INTEGRAL PARA CONSTRUIR UN PROVEEDOR DE ACCESO A INTERNET PAI UNIVERSITARIO EN EL CAMPUS HUACHI-UTA

1.1.1 Planteamiento del problema

El internet se ha consolidado como una herramienta esencial para el desarrollo social, económico y académico a nivel mundial. Su evolución ha transformado la forma en que las personas acceden a la información, se comunican o realizan actividades cotidianas, desde la educación en línea hasta el comercio electrónico. La adopción del servicio de internet en Ecuador se ha incrementado en gran medida en los últimos 10 años, pasando a ser una herramienta necesaria para estudiantes, profesionales, hogares y empresas. Esta adopción rápida muestra las limitaciones estructurales en la calidad y disponibilidad del servicio, generando una distancia del servicio con sectores vulnerables y comunidades distantes a los centros urbanos.

En el contexto del Ecuador, a inicios del 2025 se registraron 15.2 millones de personas usando internet, lo que representa una penetración del 83.7% de la población total. Otra fuente gubernamental estima una cifra similar, con 17.8 millones de personas conectadas y una penetración mixta de internet fijo y móvil del 83.6%. [1] [2]

Este crecimiento se ha apresurado en los últimos años, sin embargo, Ecuador aun enfrenta retos como la brecha digital, que se mantiene en áreas rurales y grupos vulnerables, a pesar de todo actualmente lidera el despliegue en la región con un crecimiento interanual del 4%. [3]

La realidad del internet refleja que, aunque la penetración del servicio llega a niveles elevados, con más del 83% de la población conectada en el 2025 persisten causas estructurales que limitan la calidad del servicio. Las que más destacan son la insuficiente inversión en infraestructura, la concentración del mercado en pocos proveedores y la desigualdad en la cobertura urbano rural. [4]

La provincia de Tungurahua, no dispone de cifras exactas de adopción de servicio de internet en la bibliografía revisada, pero se sabe que esta provincia esta entre las que concentran un mayor número de usuarios con internet fijo, junto a Pichincha, Guayas, Azuay, Manabi, El Oro, Imbabura y Loja. [5] En vista de que Guayas y Pichincha concentran el 61% del total de conexiones del país, se infiere que otras provincias como Tungurahua tienen una cobertura parcialmente menor, aunque siguen en el grupo de las con mejores niveles de conectividad. [6] Aunque forma parte de las provincias con mayor número de conexiones de internet fijo, la infraestructura mantiene limitaciones de capacidad y estabilidad frente al crecimiento de la demanda, especialmente en sectores productivos como la floricultura, el comercio y la educación [1] El efecto directo es una menor competitividad local, ya que los emprendimientos y empresas pierden oportunidades de digitalización plena, y los usuarios experimentan intermitencias, bajas velocidades y dificultades para acceder a recursos en línea de manera confiable.

En el Campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato, la infraestructura de red presenta una configuración robusta: la red interna del campus está diseñada con VLANs y radioenlaces, conectando las distintas facultades mediante fibra óptica, switches de capa 3 y routers que soportan segmentación de tráfico por aplicación de prioridad de datos. [7] Un informe que investigo el modelo operacional de la administración de la red en la UTA indica que la gestión actual de la DITIC no asegura la confiabilidad requerida para el óptimo desempeño de la infraestructura tecnológica. Se identifica la falta de un diseño definido de operación, esto provoca consecuencias negativas en la transmisión de datos, el estudio además señala una congestión del servicio de internet inalámbrico y la red wifi interna, insuficientes canales de acceso y pocas políticas de monitoreo. Esto demuestra que hay una parcial supervisión del ancho de banda y que es mayormente visual, limitando la eficiencia en detección de fallos o congestión. [8]

La degradación del servicio de internet en entornos institucionales se asocia principalmente a tres factores: deficiencia en las coberturas de redes inalámbricas, especialmente en áreas exteriores donde existen zonas sin señal y problemas de interferencia; la inexistencia de un esquema formal de gestión de red que garantice la confiabilidad operativa y la rápida solución de incidentes; y la congestión de ancho de

banda en periodos de alta demanda debido a la falta de mecanismos adecuados de monitoreo. Por lo anterior expuesto en la población académica se mantiene problemas en el acceso continuo a plataformas virtuales, herramientas de videoconferencias y recursos digitales, es por esto que se reduce la calidad de los procesos educativos, investigativos y de vinculación. [8]

Una propuesta aceptable que mejore las condiciones presentes de conectividad en el campus Huachi es la construcción de un proveedor de accesos a internet universitario, administrado completamente por la UTA. Esta alternativa fortalece el servicio de internet inalámbrico en el campus mediante la ampliación de la cobertura Wi-Fi 6, generando una señal constante, continua y de alta potencia en todas las áreas académicas; también, añadiría un marco de gestión de red, con monitoreo y políticas de calidad de servicio que mejoren el uso del ancho de banda y prevengan la saturación en horas pico. La UTA brindaría una mejor experiencia académica de estudiantes y docentes y también sería un referente regional en innovación digital.

1.2 Antecedentes investigativos

La creación de un Proveedor de Acceso a Internet (PAI) universitario responde a la necesidad de garantizar una conectividad estable, segura y de calidad en los campus de educación superior, donde las demandas de servicios digitales, académicos y de investigación son cada vez mayores. Diversas universidades en Ecuador y en la región han emprendido proyectos relacionados con la optimización de sus redes, contratación de servicios especializados o rediseño de infraestructuras inalámbricas, para atender estas necesidades. El análisis de estos antecedentes resulta esencial, pues permite identificar experiencias exitosas, desafíos comunes y enfoques técnicos, económicos y regulatorios que puedan servir de referencia para la implementación de un PAI en el campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato.

En el año 2025, A. Kusyadi, R. Abdurahman, D. Gunawan y R. Kusumawardani, realizaron una investigación denominada “Low-cost Highly-interopeable Multiplatform Campus Network: Experience of YARSI University”, su principal objetivo fue describir el diseño y operación de una red de campus de bajo costo, altamente interoperable, que integra múltiples plataformas. El proyecto contemplo la

construcción de infraestructura local con tecnología UTP para interconectar edificios y salas, uso de soluciones inalámbricas dedicadas, y la implementación de portales cautivos para gestionar usuarios simultáneos. Se priorizó la reducción de costos de adquisición, mantenimiento y operación, así como la autonomía institucional para la administración de la red. Y ofreció un modelo viable para instituciones con presupuestos limitados. [9]

En el año 2024, Talha Shahab y Abdul Salam presentaron el estudio “Enhancing Wireless Campus Network Performance and Security Using Load Balancing”, cuyo objetivo fue optimizar el rendimiento y la seguridad de redes inalámbricas en ecosistemas universitarios aplicando técnicas de balanceo de carga. Diseñaron y evaluaron un modelo de red inalámbrico que distribuyera de manera eficiente el tráfico de usuarios en múltiples puntos de acceso de esta manera disminuyeron la saturación en horas pico y optimizaron la experiencia de conectividad. Mediante segmentación lógica y políticas de acceso controladas incrementaron la seguridad. Y concluyeron que la implementación de balanceo de carga disminuyó significativamente la congestión de la red, incremento la velocidad promedio de navegación y disminuyó la tasa de desconexiones. [10]

En el año 2023 Barahona Betancourt desarrolló la investigación “Red Inalámbrica de área local para los bloques C y D del Campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana basado en Wi-Fi 6” en la ciudad de Quito. La investigación analizó la infraestructura de red además realizó simulaciones de cobertura con el software Ekahau AI PRO, tomando en cuenta horarios de sobrecarga de usuarios. Determinaron que la red presenta insuficiente cobertura inalámbrica y saturación de la red en lugares específicos, como en pasillos y áreas comunes. La solución planteada fue distribuir de manera diferente ciertos puntos de acceso y la adopción del estándar Wi-Fi 6, con lo cual la red soportaría más usuarios conectados, disminuiría latencia y una mejor administración de los APs en condiciones críticas, siendo una propuesta escalable y conforme con las necesidades de crecimiento tecnológico de la institución. [11]

En el año 2022, la Universidad de las Artes realizó un proyecto titulado “Informe de necesidad para la contratación de acceso a la red avanzada de investigación y academia RED CLARA, servicio de internet y seguridad”. La universidad buscaba sustentar un

convenio de servicios de conectividad académica avanzada que pueda incrementar la eficiencia de la infraestructura tecnológica existente. La situación real que experimentaba la institución era: restricciones en el acceso a internet, escasas en seguridad y la urgencia de mejorar los servicios digitales para estudiantes, docentes e investigadores. Mediante el análisis de requerimientos técnicos, financieros y de cobertura, se evidencio la necesidad de integrar a la universidad en la red internacional REDCLARA, para potenciar la conectividad hacia repositorios académicos y bibliotecas virtuales. Los resultados más relevantes del informe concluyen que la contratación garantiza mayor ancho de banda, seguridad en el acceso, estabilidad en la transmisión de datos y soporte para proyectos de investigación de alto nivel, consolidando así a la Universidad de las Artes como un nodo académico competitivo a nivel nacional e internacional. [12]

Akbar M., Kridalaksana A. y Eko S. en 2020 llevaron a cabo la investigación llamada “Desingnig an Adaptive Bandwidht Management for Higher Education Institutions”, su enfoque propuso un sistema adaptativo de gestión de ancho de banda para instituciones de educación superior, estructurado para fortalecer el uso educativo de la red frente a otros usos que pudieran consumir excesivamente los recursos. Mediante registros de uso web, aplicaron métodos de minería de uso web para identificar tráfico educativo y trafico no educativo, y generaron un prototipo que asigna dinámicamente más ancho de banda a contenido educativo, optimizando el rendimiento, garantizando la calidad del servicio y haciendo un uso más eficiente de los recursos de conectividad. [13]

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Proveedor de Acceso a Internet (PAI) y cadena de valor de Internet

Un Proveedor de Acceso a Internet (PAI/ISP), o por su denominación en ingles Internet Service Provider, es la empresa privada o entidad pública, que proporciona conectividad a la red general o global de redes interconectadas (internet) incluyendo los servicios que se asocian a la trasmisión extremo a extremo de información. Desde una visión técnica, el PAI administra la infraestructura física, red de fibra óptica,

equipamiento activo, red de acceso tal como la infraestructura lógica, protocolos de enrutamiento, bloques de direccionamiento IP, servicios de resolución de nombre DNS y la asignación dinámica de direcciones DHCP que permite la comunicación de sus usuarios hacia la red o ecosistema global de internet. Al definir operativamente un PAI mencionamos tres funciones principales: el acceso al medio de transmisión, la interconexión entre redes autónomas mediante protocolos BGP (Border Gateway Protocol) y el suministro de servicios de valor agregado como almacenamiento en la nube, seguridad y correo electrónico. [14][15]

En la literatura técnica se clasifica a los PAI en una jerarquía de tres niveles que muestra su ubicación en la cadena de valor de internet. El Nivel 1 o Tier 1 están considerados los proveedores u operadores globales que dan servicios de infraestructura de red transcontinental incluyen acuerdos de interconexión gratuita (peering) entre sí, llegando a cualquier destino de internet sin pago de tránsito. Los proveedores de Nivel 2, Tier 2, son empresas regionales o nacionales, mantienen acuerdos de peering combinados con operadores Tier 1 para ampliar destinos fuera de su cobertura. Los operadores de Nivel 3, Tier 3 son proveedores de acceso local, toman servicios de tránsito de operadores Tier 1 o Tier 2 para brindar conectividad a usuarios finales. Al identificar esta clasificación fundamental de un PAI podemos comprender sus costos de operación, un PAI universitario actuaría como Tier 3, tomando tránsito upstream de un proveedor nacional con capacidad de interconexión internacional. [14][16]

Para articular la cadena de valor de internet se utilizan 3 capas independientes que establecen la estructura de costes y como un operador maneja su modelo de negocio. La capa más baja corresponde a la provisión de acceso, a través de la cual un PAI enlaza a usuarios finales, empresas o instituciones mediante el uso de tecnologías de red de acceso tales como FTTH/PON, acceso inalámbrico fijo o cable coaxial. La capa del medio es la de tránsito de tráfico, aquí proveedores de mayor jerarquía suministran y garantizan el alcance del tráfico alcanzando así cualquier destino de la red de internet global utilizando tablas de enrutamiento completas (full BGP tables). La tercera y última capa es establecida para generadores de contenido y aplicaciones, los mismos que brindan servicios digitales sobre la infraestructura de las capas anteriores. Hablando de un PAI universitario, articular estas capas define tanto la arquitectura

técnica, diseño de la red de acceso y el borde de interconexión, así como la estrategia económica mediante la optimización del costo por Mbps de tránsito contratado. [14] [15]

Un PAI universitario se diferenciaría estratégicamente de un proveedor privado o comercial en la naturaleza de sus objetivos institucionales, como calidad de servicio de la red institucional, la educación superior de ingenieros en telecomunicaciones o la preparación de estos ingenieros en el campo laboral de las redes de fibra óptica. Por otro lado, un ISP comercial se enfoca en las ganancias que genera la empresa, respecto a la inversión. Estas diferencias hacen que un PAI universitario se enfoque principalmente en un servicio de calidad, equidad de acceso, además de actividades de investigación, innovación y educación. De esta manera mantendría una orientación consecuente con los principios de las redes académicas avanzadas (NREN, National Research and Education Networks), en donde la rentabilidad comercial no es la base de su funcionamiento sino el servicio a la misión institucional. La Universidad Técnica de Ambato, al permitirse la implementación de una PAI propio, se ubica en un paradigma de gestión académica de la conectividad, manteniendo lineamientos de provisión del servicio con los objetivos de su Plan Estratégico de Desarrollo Institucional y su mandato de vinculación con la sociedad. [15] [17]

1.3.2 Fundamentos de arquitectura de red para un PAI universitario

Un PAI tiene una arquitectura de red basado en un modelo de diseño jerárquico de tres capas propuesto por CISCO SYSTEMS adoptado de manera masiva en la industria: núcleo(core), distribución y acceso. La capa core administra la conmutación de alto rendimiento del tráfico entre los distintos sectores de la red, aplicando redundancia y baja latencia; opera con tecnologías de fibra monomodo con velocidades de 10 a 100 Gbps y protocolos de enrutamiento interior como OSPF (Open Shortest Path First) o IS-IS de esta manera mantiene una convergencia rápida ante fallos. La capa de distribución añade el tráfico generado de distintos nodos de acceso, opera con políticas de calidad de servicio (QoS) y segmentación lógica mediante VLANs, además trabaja también como frontera entre las políticas de la capa de acceso y las del core. La capa de acceso es el punto de conexión con el cliente o usuario final, desarrollado mediante tecnologías PON y medios de acceso inalámbrico (AP). [14] [18]

La tecnología de red de acceso establecida para el PAI universitario del campus Huachi es XGS-PON (10-Gigabit-capable Symmetric Passive Optical Network) , establecida en la recomendación ITU-T G.9807.1. Esta norma establece una red óptica pasiva con capacidad de transmisión simétrica de 10 Gbps es decir en sentido descendente (downstream, longitud de onda 1577 nm) como ascendente (upstream, 1270 nm), utiliza una arquitectura punto-multipunto(P2MP) en la que una Optical Line Terminal (OLT) instalada en el departamento DITIC distribuye la señal óptica asía múltiples Optical Network Terminals (ONTs) en las instalaciones del cliente o usuario final, a través de una Red de Distribucion Optica(ODN) completamente pasiva compuesta por splitters PLC(Planer Lightwave Circuit). La clase óptica N2 del estándar establece rangos de potencia de transmisión del OLT entre +4 y +7 dBm y una sensibilidad mínima del receptor de -28 dBm, resultando en un presupuesto óptico de enlace máximo de aproximadamente 31 dB. [17] [19]

XGS-PON en comparación a su versión anterior GPON (ITU-T G.984.x, con capacidad de 2.5 Gbps downstream y 1.25 Gbps upstream por puerto OLT) que presenta capacidades menores, a las cargas de tráfico determinadas para la universidad, con anchos de banda superiores a los 15 Gbps en proyecciones para las facultades FCHE y FISEI del campus Huachi al año 2030. Esto justifica la adopción de XGS-PON y además es compatible con redes existentes de fibra óptica G.652.D, de esta manera es innecesario sustituir la red de planta externa actual. Tomando en cuenta la visión de escalabilidad, la migración hacia estándares superiores (25G-PON, NG-PON2) se implementa actualizando únicamente los transceptores ópticos en OLT y ONTs, manteniendo la inversión en fibra óptica y obra civil. La relación de splitteo máxima permitida por XGS-PON N2, de 1:128, permite brindar servicio hasta 128 usuarios por puerto OLT, optimizando el costo de infraestructura activa. [18] [19] [20]

En cuanto al medio de transmisión de la red de distribución óptica la fibra monomodo en conformidad a la Recomendación ITU-T G.652.D, en la que la variante ADSS (All-Dielectric Self-Supporting) añade materiales de refuerzo dieléctrico que admiten su tendido aéreo en la red de postes de distribución eléctrica, sin la necesidad de mensajeros extras de metal. Las características de trasmisión de G.652.D contienen atenuación máxima de 0.35 dB/km a 1310 nm y 0.20 dB/km a 1550 nm, además es compatible con tecnologías CWDM/DWDM en las bandas O, E, S, C y L, y un radio

mínimo de curvatura de 30mm haciéndolo flexible al tendido. La variedad G.657A2 empleada en la instalación domiciliaria incrementa la tolerancia a la curvatura hasta un radio mínimo de 5 mm, permitiendo su ubicación en interiores sin causar degradación por pérdidas por inserción. [21]

La capa de distribución en el cliente o usuario final se implementa mediante el estándar IEEE 802.11ax, conocido como Wi-Fi 6. Este modelo introduce progresos en comparación a su predecesor 802.11ac en tres aspectos importantes para entornos de alta densidad de usuarios. Primero, implementa OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) esto ayuda a subdividir el canal en múltiples unidades de recursos (RU, Resource Units) que se asignan de manera simultánea a diferentes usuarios, mientras que OFDM de 802.11ac asigna el canal completo a un solo usuario, con esta variante se incrementa de gran manera la eficiencia espectral en entornos de alta densidad de dispositivos. Segundo, utiliza un mecanismo Target Wake Time (TWT), esto le da la posibilidad de coordinar el acceso al medio de equipos IoT y móviles, minimizando la contención y el gasto energético. Como tercer aspecto, permite el uso de BSS (Basic Service Set Coloring) esto atenúa las interferencias entre celdas contiguas, esto es importante en entornos donde existen muchos puntos de acceso como un campus universitario. [22, 23, 24]

1.3.3 Gestión, Operación y Calidad del Servicio

En un PAI la gestión de red se distribuye entorno al FCAPS, definido en la Recomendación ITU-T M.3400 así que es parte del modelo de Gestión de Red de Telecomunicaciones (TMN, Telecommunications Management Network). FCAPS engloba cinco áreas: Gestión de Fallos (Fault Management), gestión de configuración (Configuration Management), gestión de contabilidad (Accounting Management), gestión de desempeño (Performance Management) y gestión de seguridad (Security Management). La Gestión de fallos engloba mecanismos de detección, aislamiento y corrección de errores en los elementos de red, enfocado en la disminución del tiempo medio de detección y de reparación. Además, en esta gestión de manera periódica se recolecta métricas operacionales (latencia, jitter, pérdida de paquete, throughput). En un PAI universitario, la implementación del modelo FCAPS es condición necesaria

para cumplir con los parámetros de calidad del servicio de valor agregado de internet, establecidos por el regulador ecuatoriano ARCOTEL. [25] [26]

En el contexto de las redes XGS-PON, la gestión de ancho de banda compartido entre múltiples ONTs conectadas a un mismo puerto OLT se realiza mediante mecanismos de Asignación Dinámica de Ancho de Banda (DBA, Dynamic Bandwidth Allocation), especificados en el estándar ITU-T G.9807.1 y los complementarios G.984.3 y G.987.3. La asignación dinámica de ancho de banda funciona estableciendo segmentos de tiempo de transmisión a cada ONT a partir de las especificaciones de ancho de banda establecidas y de las normas de calidad de servicio QoS programadas por el operador. En una OLT se puede acceder a cuatro tipos de configuraciones, esto nos facilita brindar distintos servicios de tráfico definido: tráfico de tasas fija, como la voz, tráfico de tasa asegurada con tolerancia al retardo, tráfico de ancho de banda mínimo garantizado y máximo definido, y el aprovechamiento del ancho de banda residual. La combinación de estos tipos posibilita la implementación de políticas diferenciadas de QoS para los distintos servicios de una red universitaria (videoconferencia, plataformas LMS, acceso general a internet). [18] [27]

Los parámetros de servicio exigibles a un PAI en Ecuador están definidos en la resolución de ARCOTEL “Parámetros de la calidad del servicio de valor agregado de internet”, que establecen indicadores mínimos de cumplimiento obligatorio para los proveedores registrados. Estos incluyen: disponibilidad del servicio, medida como el porcentaje del tiempo en que el acceso a internet este operativo sobre el total del periodo contratado; velocidad efectiva de descarga y subida, expresada como el porcentaje de la velocidad contratada que el usuario experimenta en condiciones normales; latencia de ida y vuelta hacia nodos de referencia; y métricas de atención al usuario como tiempo de respuesta a reclamos. Estos parámetros deben ser medibles, auditables y reportables al regulador, lo que impone al PAI la obligación de implementar sistemas de monitoreo continuo con capacidad de generación de informes periódicos. [26]

La planificación de capacidad constituye un proceso continuo en la gestión operativa de un PAI, cuyo objetivo es anticipar el crecimiento de la demanda de tráfico y dimensionar la infraestructura con suficiente anticipación para evitar la congestión.

Los modelos de tráfico empleados en este proceso incluyen la distribución de Erlang para la modelización de la ocupación de canales, el modelo de autosimilitud del tráfico IP, y los modelos de demanda basados en dispositivos por usuario (DPU, Devices Per User), como el empleado en la metodología del Cisco Annual Internet Report, que proyectan la carga de la red multiplicando el número de usuarios por un factor per cápita de dispositivos. En el diseño del PAI del campus Huachi, este enfoque se implementó proyectando un NDU (Numero de dispositivos por usuario) de 3.92 para 2026 y 5.14 para 2030, con una tasa de crecimiento compuesta anual del 7% para América Latina, cifra consistente con el Cisco Annual Internet Report 2020. [15] [28]

1.3.4 Seguridad y Gobierno de red

La arquitectura de seguridad de una red de acceso de telecomunicaciones se fundamenta en el modelo establecido por la Recomendación ITU-T X.805, que define un marco de seguridad de extremos a extremo estructurado en 3 planos (usuario, control y gestión) y ocho dimensiones de seguridad aplicables transversalmente: control de acceso, autenticación, no repudio, confidencialidad, comunicación de seguridad, integridad de datos, disponibilidad y privacidad. La recomendación ITU-T X.805 es completamente adaptable a los lineamientos de un PAI universitario, ya que el conjunto que identifica al usuario abarca el tráfico académico de estudiantes, docentes y los hogares de la parroquia Celiano Monge de Ambato. Para el ecosistema de control se añade los protocolos de señalización y enrutamiento (BGP, OSPF, DHCP), y el sistema de gestión engloba el acceso administrativo a los elementos de red (OLT, routers, switches) utilizando protocolos como SSH, SNMP v3 y NETCONF/RESTCONF. [29]

La seguridad del plano de enrutamiento es una de las dimensiones más críticas en la operación de un ISP, dado que vulnerabilidades en el protocolo BGP pueden derivar en secuestros de rutas (route hijacking) o fugas de prefijos (route leaks) con impacto en la accesibilidad de los servicios. El RFC 7454 “BGP Operation and Security” del IETF establece buenas prácticas operacionales de seguridad para operadores BGP, incluyendo: filtrado de prefijos mediante listas de prefijos y max-prefix, validación de la fuente de los anuncios mediante RPKI (Resource Public Key Infrastructure) y el proceso de validación de origen o ruta (ROV, Route Origin Validation) definido en el

RFC 6811, y la aplicación de comunidades BGP para el control de la propagación de rutas. La implementación de BCP38 (Best Current Practice 38), que establece el filtrado de direcciones fuente en el borde de la red del operador, es igualmente fundamental para mitigar los ataques de amplificación y denegación de servicio distribuido (DDoS) que explotan la suplantación de direcciones IP. [30] [31]

La autenticación, autorización y contabilidad de usuarios y dispositivos constituye un componente esencial del gobierno de red de un PAI universitario. El protocolo RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service, RFC 2865) y su actualización DIAMETER (RFC6733) son las herramientas normalizadas en la industria para añadir autenticación, autorización y contabilidad en ecosistemas de acceso masivo, facilitando la autenticación de ONTs y usuarios finales, el uso de normas de acceso distinguidas por perfil de usuario, y el registro de sesiones para objeto de contabilidad y cumplimiento normativo. En entornos de red inalámbrica de campus el estándar IEEE 802.1X, en combinación con EAP-TLS (Extensible Authentication Protocol – Transport Layer Security), proporcionan autenticación mutua basada en certificados digitales, eliminando las vulnerabilidades asociadas a contraseñas compartidas (PSK, Pre-Shared Keys) que son frecuentes en despliegues Wi-Fi no gestionados. [14] [29]

El gobierno de red en el contexto de un PAI universitario trasciende los aspectos técnicos para abarcar las dimensiones organizativas, legal y ética de la gestión de la conectividad. Una administración acertada necesita establecer normativas de uso aprobable, que determinen los términos de uso del servicio, las actividades prohibidas y las consecuencias del incumpliendo. El procesamiento y gestión de vulnerabilidades requiere establecerse como una línea continua que asegure la monitorización de avisos de seguridad para los equipos instalados, la aplicación preventiva de parches de software y la ejecución habitual de auditorías de seguridad. En el marco ecuatoriano, el tratamiento de los datos de tráfico y de usuarios debe cumplir con la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (LOPD), que establece obligaciones de minimización de datos, seguridad de la información y notificación de incidentes. La implementación de un NOC (Network Operations Center) con procedimientos documentados de respuesta a incidentes es la practica organizativa que materializa el gobierno de red en el plano operativo. [26] [18] [32]

1.3.5 Viabilidad Integral: Técnica, Económica, Legal y Social

La viabilidad integral de un proyecto de infraestructura de telecomunicaciones se evalúa mediante la convergencia de cuatro dimensiones interdependientes: técnica, económica, legal y social. La viabilidad técnica se demuestra verificando que los parámetros de diseño de la infraestructura propuesta (presupuesto óptico, capacidad de ancho de banda, densidad de usuarios, cobertura) satisfacen los requerimientos de la demanda proyectada dentro de los márgenes de tolerancia establecidos por los estándares internacionales aplicables. En el caso de redes FTTH/PON, la validación técnica central es el análisis del presupuesto óptico de enlace (Link Power Budget), definido como la diferencia entre la potencia de transmisión del OLT y la sensibilidad mínima del receptor de la ONT, que debe ser superior a la suma de todas las pérdidas pasivas del enlace (atenuación de la fibra, splitters, conectores y empalmes) más un margen de diseño que compense la degradación de componentes por envejecimiento y variaciones de temperatura. [20] [33]

La viabilidad económica de un PAI se analiza mediante la estructuración y evaluación de los costes de capital (CAPEX, Capital Expenditure) y los costes operativos (OPEX, Operational Expenditure). El CAPEX está formado por la inversión inicial que no volverá a generar gastos en activos ya que su vida útil es de largo plazo (red pasiva de fibra óptica, maquinaria activa, dispositivos de cliente, pago salarios de despliegue, costes administrativos y legales de funcionamiento) el recobro de esta inversión se realiza en los años de utilidad definidos del proyecto por medio de flujos de ingreso generados. El OPEX incluye los costos recurrentes de operación del servicio: adquisición de ancho de banda mayorista, arrendamiento de infraestructura pasiva, mantenimiento preventivo y correctivo de la red, personal técnico y administrativo, y tasas regulatorias. La proyección de flujos de caja futuros, descontados a una tasa que refleja el costo ponderado de capital (WACC, Weighted Average Cost of Capital) del proyecto, permite calcular el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), indicadores que determinan la rentabilidad absoluta y relativa del proyecto. [34] [35]

Determinar el punto de equilibrio es importante para proyectos de PAI, debido a que el negocio funciona mediante un costo fijo mensual relativamente alto (OPEX generalmente similar cada mes) y un coste variable que se incrementa con el número

de usuarios activos (equipos de usuarios, instalación y soporte). El punto de equilibrio se calcula como la división del OPEX mensual y el ingreso promedio por usuario ARPU (valor promedio a pagar por los clientes cada mes), este cálculo define un número mínimo de usuarios activos para que el flujo de caja operativo sea no negativo. Un ingreso promedio por usuario de USD 22/mes y un gasto operativo mensual de USD 1,746 establece un punto de equilibrio de 80 clientes, lo que representa el 10.4% de la capacidad instalada en la fase inicial (768 clientes), confirmado la robustez financiera del modelo propuesto. [34] [35]

La viabilidad social de un PAI universitario se fundamenta en su capacidad de generar impactos positivos verificables en el bienestar de las comunidades a las que sirve. En el contexto de la educación superior, la conectividad de alta calidad es un habilitador crítico de la igualdad de oportunidades académicas: el acceso equitativo a plataformas de aprendizaje en línea, repositorios digitales, videoconferencias y herramientas colaborativas determina en gran medida la calidad de la experiencia educativa y la capacidad de los estudiantes para acceder a recursos pedagógicos de nivel internacional. La extensión del servicio así a la comunidad circundante del campus, en este caso, la parroquia Celiano Monge, amplifica el impacto social al reducir la brecha digital en un área urbana potencial de 3,892 hogares. Este componente de vinculación comunitaria es coherente con el mandato de las universidades ecuatorianas establecido en la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES). [36] [37]

1.3.6 Modelo de Despliegue y Operación

La selección del modelo de despliegue de un PAI universitario implica decisiones estratégicas sobre el nivel de integración vertical deseado, desde la gestión de la infraestructura pasiva hasta los servicios de valor agregado, y sobre el modelo de interconexión con el ecosistema de internet. El modelo de operación autónoma con tránsito contratado, denominado en la literatura como “own AS with upstream transit”, consiste en que la universidad opera su propio Sistema Autónomo (AS, Autonomous System) con número de ASN asignado por LACNIC, anuncia sus bloques de direcciones IP mediante BGP hacia uno o más operadores de tránsito upstream, y gestiona internamente toda la infraestructura de red de acceso y distribución. Este modelo maximiza el control institucional sobre las políticas de enrutamiento, la calidad

del servicio y la seguridad, pero exige mayor capacidad técnica del equipo operativo y una inversión inicial más elevada en equipamiento activo de borde. [14] [18]

Un modelo bastante común entre organizaciones que recién empiezan como proveedores de internet es una mezcla de operaciones. La idea es simple: la organización se encarga de manejar su propia red de acceso y distribución interna, pero deja en manos de terceros todo lo que es más complicado de operar como el tránsito IP, protección contra ataques DDoS, el DNS seguro y la seguridad perimetral. Con esto se evita tener que dominar todo desde el principio, se puede arrancar más rápido y el equipo técnico va aprendiendo y creciendo de a poco conforme la organización gana experiencia. El coste de los servicios subcontratados se refleja en el OPEX del proyecto y debe ser evaluado en el análisis financiero frente al coste de su implementación interna. [17] [35]

Con independencia del modelo de propiedad y operación elegido, la literatura especializada recomienda adoptar un enfoque de despliegue por etapas (staged rollout) que permita validar la arquitectura técnica, ajustar el modelo de negocio y acumular capacidad operativa antes de escalar el volumen de clientes objetivo. Kani (2022) plantea que las redes de acceso óptico deberían desarrollarse en cuatro fases. Primero, ordenar y monitorear lo que ya existe. Luego, implementar el diseño de red definitivo, pero sin exigirle demasiado desde el inicio. Después, ir ampliando la cobertura según vayan sumándose más clientes. Y finalmente, automatizar toda la gestión con herramientas modernas como infraestructura como código IaC y telemetría avanzada. Este enfoque es coherente con el modelo de tasa de adopción adoptado en el análisis financiero del PAI universitario UTA, que proyecta una penetración del 30% en el año 1, escalando hasta el 85% en el año 5. [38]

La selección de la tecnología de acceso óptico XGS-PON para el despliegue del PAI universitario ofrece ventajas concretas desde la perspectiva del modelo de operación. La naturaleza pasiva de la ODN elimina los componentes activos de la planta externa, que son típicamente los elementos de mayor tasa de fallo y mayor costo de mantenimiento de las redes de acceso tradicionales, reduciendo el OPEX de mantenimiento a actividades de inspección periódica de conectores, medición con reflectómetro óptico (OTDR) y replazo eventual de empalmes por fusión. La

centralización de la inteligencia activa en la OLT facilita asimismo la actualización de software y la modificación de políticas de servicio sin intervención física en la planta externa. El diseño de sistema de nomenclatura jerárquica ACM-XXY-ZZZZ propuesto en este trabajo permite la identificación unívoca de cualquier elemento de la red desde la sala de operaciones, habilitando el mantenimiento remoto como práctica operativa estándar. [18] [20]

1.3.7 Marco Legal y Normativo en Ecuador

El marco constitucional que fundamenta el derecho de acceso a internet en Ecuador se establece en el artículo 16 de la Constitución de la República del Ecuador (2008), que reconoce el acceso en condiciones de igualdad al uso de las frecuencias del espectro radioeléctrico para la gestión de estaciones de radio y televisión, privadas y comunitarias, y el acceso y uso de todas las formas de comunicación visual, auditiva, sensorial y otras que permita la tecnología. Este precepto constitucional establece la obligación del estado de proveer la inclusión digital y garantizar las condiciones para que todos los ciudadanos puedan beneficiarse de las Tecnologías de la Información y Comunicación. En el contexto de un PAI universitario este mandato constitucional fundamenta jurídicamente la intervención de la UTA en la provisión de conectividad, tanto para su comunidad académica interna como para la comunidad circundante, enmarcándola en la misión de vinculación con la sociedad que la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES) impone a las instituciones de educación superior. [36] [37]

En Ecuador, la Ley Orgánica de Telecomunicaciones del Ecuador (LOT) es la que regula todo lo relacionado con los servicios de telecomunicaciones, y quien se encarga de hacerla cumplir es ARCOTEL. Según esta ley, los servicios de internet entran en la categoría de “servicios de valor agregado”, lo que significa que cualquier organización que quiera ofrecer este tipo de servicios primero tiene que registrarse ante ARCOTEL y obtener el título habilitante conocido como VSET. Este proceso de registro incluye la presentación de información técnica sobre la infraestructura a desplegar, el plan de cobertura geográfico y el compromiso de cumplimiento de los parámetros de calidad establecidos por el regulador. A diferencia de las concesiones de telecomunicaciones que exigen mayores requisitos, el registro de servicios de valor agregado es un

procedimiento de menor complejidad regulatoria, lo que favorece la viabilidad del PAI universitario desde el punto de vista administrativo-legal. [32] [39]

ARCOTEL también define los estándares de calidad que todos los operadores registrados en Ecuador deben cumplir obligatoriamente. Estos incluyen indicadores como la disponibilidad del servicio, las velocidades reales de descarga y subida, la latencia, y los tiempos de respuesta ante reclamos de usuarios. Además, los operadores tienen que llevar registros comprobables de todo esto y presentarlos cuando ARCOTEL los solicite en sus labores de control. Para el PAI universitario de la UTA, el cumplimiento de estos parámetros no solo es una obligación regulatoria, sino también una garantía de calidad para la comunidad universitaria y un elemento diferenciador respecto a los proveedores comerciales locales que operan con altos índices de sobresubscriptores y baja calidad efectiva de servicio. [26]

El Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información (MINTEL) en la Agenda de Transformación Digital del Ecuador 2022-2025, establece los lineamientos estratégicos del Estado ecuatoriano para la creación de la infraestructura digital nacional, el despliegue de la conectividad hacia zonas con cobertura deficiente, y el fomento de la inclusión digital como herramienta de desarrollo social y económico. Exactamente, la agenda apoya la expansión de redes de fibra óptica de última generación, incluyendo FTTH, dirigida a zonas urbanas y periurbanas, la inclusión de estándares abiertos de interoperabilidad y la actualización de los marcos regulatorios para facilitar el ingreso de nuevos actores al mercado de telecomunicaciones, en estos nuevos actores se añade potencialmente instituciones académicas. El PAI universitario del campus Huachi se enmarca directamente con estos objetivos estratégicos nacionales, apoyando desde el ámbito universitario a la disminución de la brecha digital en la provincia de Tungurahua y el fortalecimiento del ecosistema digital local. [40]

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar la factibilidad integral para construir un Proveedor de Acceso a Internet PAI universitario en el campus Huachi-UTA.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar las necesidades específicas de conectividad y la infraestructura de red existente en el Campus Huachi de la UTA.
- Diseñar la arquitectura objetivo del PAI universitario.
- Validar la factibilidad integral del PAI con criterios de QoS, económicos y regulatorios.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

El desarrollo del presente proyecto de investigación requirió la integración de recursos materiales de distinta naturaleza: normativas técnicas internacionales, bases de datos institucionales, herramientas de software y fuentes estadísticas oficiales. A continuación, se describen los materiales empleados en cada dimensión del estudio, diferenciando entre los instrumentos de levantamiento de campo, los modelos analíticos y las fuentes de datos cuantitativos que sustentan los resultados obtenidos.

2.1.1 Normas y estándares técnicos internacionales

La evolución técnica de la infraestructura de red y el diseño de la arquitectura XGS-PON se fundamentaron en las siguientes normas internacionales. La Recomendación ITU-T G.9807.1 define el estándar para redes ópticas pasivas simétricas de 10 Gbps (XGS-PON), especificando los parámetros de la clase N2 (potencia mínima de transmisión del OLT de +4 dBm, sensibilidad mínima de la ONT DE -28 dBm y presupuesto óptico máximo de 31 dB) utilizados en el cálculo del enlace óptico del presente diseño. [18]

La Recomendación ITU-T G.984.1 define los principios de la arquitectura punto-multipunto (P2MP) para redes ópticas pasivas, que fundamentan la topología de splitteo en cascada 1:8 * 1:16 adoptada en el diseño de la planta externa. La Recomendación ITU-T G.652.D especifica las características de la fibra monomodo estándar (atenuación de 0.35 dB/km a 1310 nm) empleada como medio de transmisión en la red troncal y de distribución. La variante G.657 A2 rige las características de la fibra drop utilizada en la acometida domiciliaria, con radio mínimo de curvatura de 5mm. [41] [21]

El estándar IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6) especifica las características técnicas del equipamiento de distribución inalámbrico en el cliente (Velocidades teóricas de hasta 9.6 Gbps, OFDMA, MU-MIMO de 8 flujos espaciales y Target Wake Time) que justifican su elección como tecnología de última milla doméstica, en coherencia con

el ancho de banda de 78.125 Mbps garantizado teóricamente por la red XGS-PON con splitteo 1:128. [42]

Los parámetros de calidad del servicio de valor agregado de internet del regulador ecuatoriano ARCOTEL constituyen la referencia normativa para la evaluación de disponibilidad, velocidad efectiva, latencia y atención al usuario. [43] [44]

2.1.2 Bases de Datos Estadísticos e Institucionales

Las proyecciones de la población universitaria se obtuvieron del Sistema de Información de Planificación y Seguimiento (SIPPC) de la Dirección de Planeamiento y Evaluación (DIPLEV) de la UTA, que registro una matrícula de 15,000 usuarios en 2022, y 16,517 en 2024. El Informe de Rendición de Cuentas UTA 2024 proporciono la distribución por facultad de los 11,254 usuarios identificados para 2026 en el campus Huachi. Y los datos de infraestructura existente (206 Access Points distribuidos en 8 nodos facultativos) provienen de la documentación obtenida en cada facultad. [45]

Para el componente territorial de la parroquia Celiano Monge, se utilizaron las siguientes fuentes: el Censo de Población y Vivienda 2022 del INEC, que establece una población urbana de la ciudad de Ambato de 177,316 habitantes distribuidos en 9 parroquias urbanas y una densidad poblacional de 40.28 hab/ha para la parroquia Celiano Monge; el mismo censo establece un promedio de 3.5 personas por hogar. El índice de penetración del servicio de internet en hogares ecuatorianos para 2023 es de 62.2%, publicado por el INEC en su informe TIC 2023, y sirvió como referencia para estimar la demanda potencial del sector residencial. El geo portal del GAD Municipal de Ambato (GADMA) fue la fuente de la delimitación territorial de 527 hectáreas de la parroquia. [46] [47]

Para estimar cuantos dispositivos hay por usuario (NDU), se tomó como base el Cisco Annual Internet Report (2018-2023), que indica que en América Latina cada usuario tenía en promedio 3.2 dispositivos conectados en 2023, con un crecimiento anual del 7% (CAGR). Por otro lado, el factor de densidad de dispositivos de infraestructura ($k=1.6$ por usuario) también sale de ese mismo informe, y se obtiene simplemente

multiplicando el NDU por 0.5. Las guías de diseño de HPE Aruba Networks y Cisco Meraki fundamentaron el dimensionamiento de Access Points: 50 Usuarios máximo por AP, factor de utilización (fu) de 0.7, y la guía de CWNP (Certified Wireless Network Professional) estableció el factor de simultaneidad c de 0.5 como practica estándar en red de alta densidad. [48] [49]

2.1.3 Software y Herramientas de Medición

El análisis económico financiero (estructura de CAPEX, OPEX, cálculo del punto de equilibrio, VAN y TIR) se procesó mediante hojas de cálculo estructuradas siguiendo las metodologías de evaluación de proyectos de telecomunicaciones. La modelización de crecimiento de usuarios empleo funciones matemáticas de crecimiento continuo y crecimiento anual compuesto, aplicadas sobre los datos institucionales verificados de la UTA. [34]

Para el diseño cartográfico de la red de distribución y dispersión del PAI universitario en la parroquia Celiano Monge, se empleó el software Google Earth Pro como herramienta principal de planificación geoespacial. Esta plataforma permitió superponer la traza del tendido de fibra óptica sobre la imagen satelital de alta resolución de la parroquia, posibilitando la ubicación precisa de los 12 nodos de manga de distribución y las 96 cajas NAP en función de la densidad habitacional, la accesibilidad vial y la proximidad a los postes de la infraestructura eléctrica de EEASA disponibles para el tendido aéreo ADSS. La herramienta de medición de distancias de Google Earth Pro fue utilizada para calcular las longitudes reales de cada tramo de la red troncal (obteniendo valores de 2.4 km, 1,7 km y 3.0 km para las ramas noreste, noroeste, sureste y suroeste respectivamente) así como los tramos de distribución desde cada manga hasta las cajas NAP, con un máximo de 500 metros por tramo, y las acometidas domiciliarias desde la NAP hasta la ONT del cliente, con un máximo de 180 m. Estos valores de distancias, derivados directamente del trazado geoespacial, constituyeron el insumo primario del cálculo del presupuesto óptico de enlace, particularmente en la determinación de la distancia acumulada de 3.58 km correspondiente al escenario crítico más alejado de la red. [50]

2.2 Métodos

El presente proyecto de investigación adopta un enfoque metodológico integral que articula tres modalidades complementarias de investigación: aplicada, bibliográfica y descriptiva. Esta combinación tiene sentido porque el problema que se estudia tiene varias dimensiones al mismo tiempo: una parte técnica (diseñar la red de acceso pasiva), una parte cuantitativa (proyectar la demanda y analizar los costos) y una parte normativa (cumplir con lo que exige ARCOTEL). Combinar estas tres modalidades permite que los resultados sean coherentes entre sí, comprobables y útiles para la Universidad Técnica de Ambato pueda tomar decisiones concretas.

2.2.1 Modalidad de la investigación

a. Investigación aplicada

La investigación aplicada se define como aquella orientada a la resolución de un problema concreto y práctico, trasladando el conocimiento teórico y científico hacia soluciones implementables en un contexto real y específico. Hernández Sampieri et al. (2018) distinguen la investigación aplicada de la investigación básica por su orientación hacia la utilidad práctica inmediata: mientras la investigación básica busca producir conocimiento por valor intrínseco del mismo, la investigación aplicada parte de problemas verificados en la realidad para generar propuestas de intervención técnica, organizativa o normativa. [51]

El presente proyecto es de naturaleza aplicada, dado que parte de un problema de conectividad concreto y verificado en el campus Huachi de la UTA (saturación del servicio inalámbrico, cobertura Wi-Fi deficiente en exteriores y ausencia de un modelo estructurado de gestión de red, conforme lo documenta Galora Silva(2020)) y propone como solución el diseño de una arquitectura técnica específica (red FTTH XGS-PON bajo ITU-T G.9807.1) con dimensionamiento cuantificado, evaluación económica y validación regulatoria. La investigación no se limita a describir el fenómeno ni a construir teoría, sino que produce un dictamen de factibilidad integral que puede ser adoptado directamente como base para la toma de decisiones de inversión por parte de las autoridades institucionales de la UTA. [51]

La dimensión aplicada se materializa en tres productos técnicos concretos: (a) el dimensionamiento de la red inalámbrica del campus, que establece los requerimientos de redistribución de los 206 Access Points existentes y la necesidad de 154 APs para 2026 y 230 para 2030; (b) el diseño de la arquitectura XGS-PON con capacidad para 1,152 puertos y 768 clientes en la fase inicial, validado mediante el análisis del presupuesto óptico en el escenario crítico de 3.58 km; y (c) el modelo económico financiero con CAPEX de USD 132,500.49, OPEX anual de USD 20,956.56 y punto de equilibrio de 80 clientes activos. Cada uno de estos resultados está directamente conectado con los objetivos específicos del proyecto y con los criterios de decisión institucional que la investigación pretende informar.

b. Investigación bibliográfica

La investigación bibliográfica o documental constituye la modalidad de investigación que, según Aris (2016), se basa en la revisión, análisis y síntesis de información contenida en fuentes documentales primarias y secundarias (libros académicos, artículos científicos indexados, normas técnicas internacionales, informes de organismos oficiales) con el propósito de construir el estado del conocimiento sobre un tema y fundamentar teóricamente las decisiones metodológicas y de diseño adoptadas en la investigación. [52]

En este proyecto, la revisión bibliográfica sirvió para tres cosas concretas. Primero, para justificar las decisiones de diseño: la elección de XGS-PON, y el dimensionamiento de la red inalámbrica en las guías técnicas de HPE Aruba, CWNP y el Cisco Annual Internet Report (2020). Segundo, para obtener los modelos matemáticos y de cálculo: la proyección de crecimiento se basó en el modelo exponencial continuo de Jetwiriyanon et al. (2026), y la estimación de dispositivos por usuario en la metodología del Cisco Annual Internet Report. Tercero, para definir el marco legal y normativo aplicable, revisando la Ley Orgánica de Telecomunicaciones (ARCOTEL, 2022), los parámetros de calidad de ARCOTEL (2018), el artículo 16 de la Constitución del Ecuador y la Agencia de Transformación Digital MINTEL 2022-2025. [52] [21] [22] [53]

La revisión bibliográfica incluyó adicionalmente el análisis de cinco antecedentes investigativos directamente relacionados con el objeto de estudio: El diseño de redes

de campus universitarios de bajo coste en la Universidad YARSI (Kusyadi et al., 2025), la optimización de redes inalámbricas universitarias mediante balanceo de carga(Shahab y Salam, 2024), el diseño de redes WLAN bajo Wi-Fi 6 en universidades ecuatorianas (Barahona Betancourt, 2023), la contratación de conectividad académica avanzada en la Universidad de las Artes(Benitez y Guevara, 2022), y el diseño de gestión adaptativa de ancho de banda en educación superior(Akbar et al., 2020). Estos antecedentes permitieron identificar enfoques metodológicos comparables y validar la pertinencia de las decisiones de diseño adoptados.

c. Investigación descriptiva

La investigación descriptiva, conforme la define Tamayo (2024), comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual de los fenómenos estudiados, estableciendo relaciones entre variables sin manipularlas ni establecer causalidad. Su objetivo central es caracterizar con precisión la situación de un objeto de estudio en un momento determinado, proveyendo la base empírica sobre la cual se construyen las propuestas de intervención en la investigación aplicada. [54]

En este proyecto, la investigación descriptiva se usó en dos momentos distintos. Por un lado, se caracterizó la red que ya existe en el campus Huachi: como está configurada actualmente (fibra óptica soterrada, 206 access points repartidos en 8 nodos por facultad, VLANs, switches de capa 3 y routers con segmentación de tráfico). Por otro lado, se describió a la población universitaria a la que va dirigido el servicio: 11,254 usuarios entre estudiantes, docentes, administrativos y técnicos, distribuidos en las 8 facultades del campus.

La parte descriptiva también abarco la parroquia Celiano Monge, que es la zona donde se desplegara la red residencial. Ahí se levantaron sus datos demográficos y geográficos más relevantes: 527 hectáreas de superficie, una densidad de 40.28 habitantes por hectárea para 2022, un promedio de 3.5 personas por hogar, y una penetración del internet en hogares del 62.2 %. Esta caracterización descriptiva constituye el insumo primario sobre el cual se aplicaron los modelos de proyección de demanda que derivan en el dimensionamiento de la red.

2.2.2 Población y muestra

En el presente proyecto de investigación no se aplican técnicas de muestreo probabilístico, dado que el objeto de estudio no son los usuarios de la red como individuos estadísticos, sino la infraestructura tecnológica del campus Huachi y los parámetros técnicos, económicos y regulatorios que determinan la factibilidad del PAI universitario. Esta decisión tiene sentido dado el tipo de proyecto que es, ya que toda la información necesaria viene de fuentes documentales institucionales confiables como datos de matrículas, inventarios de infraestructura, censos y normativas, y no de encuestas o consultas a estudiantes. Como señala Arias (2016), en proyectos de ingeniería y diseño de sistemas es perfectamente válido que la población de referencia sean datos técnicos o parámetros de infraestructura, en lugar de personas. [52]

La población de referencia primaria del proyecto son los usuarios potenciales del servicio de internet en el campus Huachi de la UTA para el año 2026, identificados a partir de los datos obtenidos de cada facultad. Este universo totaliza 11,254 usuarios, distribuidos conforme a la Tabla 1. La totalidad de esta población fue considerada en el dimensionamiento de la red, sin aplicar muestreo, dado que el objetivo del estudio es diseñar infraestructura suficiente para la demanda total del proyecto y de igual manera se realizó con los datos poblacionales de la parroquia Celiano Monge.

En la Tabla 1 se observa la distribución universitaria actual, separada en estudiantes, docentes, personal administrativo y técnicos.

Tabla 1. Población universitaria Campus Huachi UTA por facultad año 2026

Facultad	Estudiantes	Docentes	Administrativos	Técnicos	Total
FICM	1,303	60	13	12	1,388
FCA	1,160	62	11	0	1,233
FDA	897	58	10	4	969
FIAB	700	38	13	6	757
FCHE	2,169	110	20	8	2,307
FISEI	1,899	83	14	6	2,002
FJCS	1,008	60	18	0	1,086
FCAu	1,433	63	16	0	1,512
TOTAL	10,569	534	115	36	11,254

La población de referencia secundaria, corresponde, a los hogares con demanda potencial de internet en la parroquia Celiano Monge, que constituye el área de despliegue del PAI residencial. A partir del Censo de Población y Vivienda 2022 del INEC, se establece que la ciudad de Ambato cuenta con 177,316 habitantes distribuidos en 9 parroquias urbanas. La parroquia Celiano Monge donde está el campus Huachi, tiene una superficie de 527 hectáreas y una densidad poblacional de 40.28 hab/ha en 2022, lo que da una población de 21,227 habitantes. Con una tasa de crecimiento anual del 0.78% (World Population Review, 2026), se estima que para 2026 esa cifra subirá a 21,900 habitantes. Tomado como referencia un promedio de 3.5 personas por hogar (INEC, 2022), eso equivale a aproximadamente 6,257 hogares en 2026. Aplicando el índice de penetración del 62.2% (INEC, TIC 2023), la demanda potencial estimada es de 3,892 hogares. [46] [47]

En la Tabla 2 se puede identificar las características de la parroquia Celiano Monge que nos permitirán dimensionar la red del PAI universitario.

Tabla 2. Datos generales de la parroquia Celiano Monge año 2026

Parámetro	Valor	Fuente
Área de la Parroquia	527 hectáreas	GADMA, 2024
Densidad Poblacional (2022)	40.28 hab/ha	INEC, Censo 2022
Población estimada (2022)	21,227	Calculo
Tasa de crecimiento anual	0.78%	World Population Review, 2026
Población proyectada (2026)	21,900 habitantes	Calculo
Personas por hogar	3.5	INEC, Censo 2022
Hogares estimados (2026)	6,257 hogares	Calculo
Parámetro	Valor	Fuente
Índice de penetración internet	62.20%	INEC, Censo 2023
Demanda Potencial (2026)	3,892 hogares	Calculo

2.2.3 Recolección de información

La recolección de información del proyecto integro tres técnicas complementarias, diferenciadas por el tipo de dato que proveen y el instrumento utilizado para obtenerlos.

Levantamiento técnico de campo: el levantamiento técnico de campo constituyo la fuente de datos empíricos primarios sobre el estado actual de la infraestructura de red del campus Huachi.

El inventario de la infraestructura activa existente 206 Access Points distribuidos en 8 nodos: FICM (30 APs), FAC (34 APs), FD (24), FIAB (38), FCHE (12), FISEI (22), FJCS (14) y FCAU (32), se obtuvo de la documentación solicitada a cada una de las 8 facultades de la UTA, mediante entrevistas semiestructuradas a personal técnico de cada edificio, orientadas a identificar elementos de la red y las limitaciones operativas percibidas.

La revisión documental consistió en recopilar, leer y organizar una variedad de fuentes: normas técnicas internacionales (ITU-T G.9807.1, G.984.1, G.652.D, IEEE 802.11ax), regulaciones ecuatorianas (Ley Orgánica de Telecomunicaciones, parámetros ARCOTEL), estadísticas institucionales (DIPLEV-UTA, INEC), guías de diseño de fabricantes (HPE Aruba, Cisco) y artículos académicos indexados. Todo esto sirvió para dos cosas: por un lado, establecer las bases técnicas y normativas del diseño; y por otro, extraer los parámetros necesarios para el modelo cuantitativo, como tasas de crecimiento de usuarios, numero de dispositivos, factores de concurrencia y capacidades de cada tecnología.

En la Tabla 3 se muestra un resumen del proceso de recolección de información realizado en la investigación.

Tabla 3. Síntesis del proceso de recolección de información

Criterio	Descripción
¿Para qué?	Comprobar la factibilidad integral (técnica, económica, operativa y regulatoria) para construir un PAI universitario en el campus Huachi-UTA
¿De qué objetivos?	Infraestructura física y lógica del campus Huachi (Aps, fibra, switches) y normativa vigente de ARCOTEL/LACNIC
¿Cómo?	Revisión documental de normativas, análisis de datos estadísticos institucionales y entrevistas semiestructuradas al personal de técnico de cada facultad.
¿Con que?	Documentación institucional de la UTA, normas ITU-T y IEEE, estadísticas INEC y ARCOTEL
¿Cuándo?	Periodo académico agosto 2025 - enero 2026, conforme el cronograma establecido en el proyecto
¿Dónde?	Campus Huachi de la UTA (8 nodos facultativos) y parroquia Celiano Monge de Ambato

2.2.4 Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de los datos recolectados se estructuró en cinco etapas secuenciales, cada una de las cuales produjo un conjunto de resultados intermedios que alimentaron la etapa siguiente, garantizando la coherencia interna del modelo.

a. Etapa 1: Proyección de la población universitaria

A partir de los datos institucionales de matrícula $P_{2022}=15,000$ y $P_{2024}=16,517$ (UTA-DIPLEV, encuesta semiestructurada a 8 facultades) se calibraron dos modelos matemáticos de crecimiento para proyectar la población al año 2026 (horizonte de destino base) y al año 2030 (horizonte de planificación). El modelo de crecimiento exponencial continuo, definido por la ecuación $P(t) = P_0 * e^{(r*t)}$, calculo la tasa de crecimiento $r = 0.03176$ (3.18% anual), obtenido $P_{2030} = 12,779$ usuarios. El modelo de crecimiento anual compuesto, definido por $P(t) = P_0 * (1+r)^t$, calculo $r = 0.0322$ (3.22% anual), obteniendo $P_{2030} = 12,790$ usuarios. La convergencia de ambos modelos diferencia en 11 usuarios, adoptándose 12,790 para el horizonte 2030.

b. Etapa 2: Proyección de dispositivos conectados

La carga total de la red se modela proyectando el número de dispositivos por usuario (NDU) mediante el modelo de crecimiento compuesto: $NDU(t) = NDU_o \cdot (1+r)^t$, obteniendo $NDU(2026) = 3.92$ dispositivos por usuario, $NDU(2030) = 5.14$ dispositivos por usuario. Adicionalmente la tasa de dispositivos por infraestructura (k) para el año 2026, $k = 1.6$ y para 2030, $k = 2.57$, el número total de dispositivos de la red asciende a 62,122 para el 2026 y a 98,610 para el año 2030. El número de Access Points requeridos se calculó con el modelo de demanda de ancho de banda agregado dando un total de APs para el campus Huachi de 154 para el 2026 y 230 para el 2030. [15] [49]

c. Etapa 3: Calculo del Presupuesto Óptico

La viabilidad técnica del enlace óptico se verificó mediante el análisis del presupuesto óptico de enlace en el escenario crítico: cliente más alejado a 3.58 km de la OLT (troncal 2.9 km + distribución 0.5 km + acometida 0.18 km), con 8 empalmes por fusión (0.05 dB c/u) y 4 conectores SC/APC (0.30 dB c/u), nivel de splitteo 1:128 dando como resultado $P_{rx} = -26.15$ dBm. La verificación frente al umbral de la clase N2 de ITU-T G.9807.1 ($P_{rxmin} = -28$ dBm) arroja un margen residual de 1.85 dB, que supera el mínimo de 1.0 dB requerido por el estándar. [18]

d. Etapa 4: Análisis económico-financiero

La estructura económica del proyecto se construyó diferenciando CAPEX y OPEX en sus componentes fundamentales. El CAPEX, que totaliza USD 132,500.49 (incluyendo contingencia del 5%), comprende cinco categorías: infraestructura pasiva (USD 50,907.24), equipamiento activo (USD 4,786.00), equipamiento cliente CPE (USD 56,064.00, 18.1 %), mano de obra e instalación (USD 5,833.71) y costes administrativos y legales (USD 8,600.00). El OPEX anual total es de \$ 20,956 USD distribuido en: ancho de banda mayorista \$ 1,800 USD, arriendo de postes EEASA \$ 1,800 USD, personal técnico y administrativo \$ 15,556 USD y otros costes operativos \$ 1,800 USD.

En cuanto a las premisas del modelo financiero, ajustadas al contexto ecuatoriano, se consideró un ARPU de \$ 22 USD mensuales por cliente, una tasa de descuento WACC del 12% anual, que es el costo de capital típico para pequeñas y medianas empresas en Ecuador, y un crecimiento anual del OPEX del 3%, equivalente a la inflación estimada del país.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

El presente capítulo expone los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto de investigación “Factibilidad integral para construir un Proveedor de Accesos a Internet PAI universitario en el campus Huachi-UTA”, siguiendo estrictamente la metodología aplicada definida en el Capítulo II. El análisis integra cuatro dimensiones interdependientes de factibilidad: técnica, económica, operativa y regulatoria, en correspondencia con el objetivo general del proyecto. Los Resultados se estructuran con base en los tres objetivos específicos aprobados en el perfil de titulación: identificación de necesidades y diagnóstico de la infraestructura existente, diseño de la arquitectura objetivo del PAI universitario, y validación integral del PAI con criterios de QoS, económicos y regulatorios.

3.1.1 Resultados del Objetivo específico 1: Identificación de necesidades de conectividad e infraestructura existente en el Campus Huachi-UTA

a. Caracterización de la población Usuaria y Demanda Proyectada para 2026

El levantamiento de datos realizado en el Campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato permitió identificar una población potencial de 11,254 usuarios para el año 2026, distribuidos en ocho facultades. La distribución por estamento es la siguiente: 10,569 estudiantes (93.9%), 534 docentes (4.7%), 115 administrativos (1.0%) y 36 técnicos (0.3%). Esta composición refleja el perfil típico de una institución de educación superior ecuatoriana, en la cual el cuerpo estudiantil representa la fracción dominante de la demanda de conectividad y, por tanto, el parámetro de diseño determinante para el dimensionamiento de la red.

En la Figura 1 se detalla la distribución por estamentos del campus Huachi.

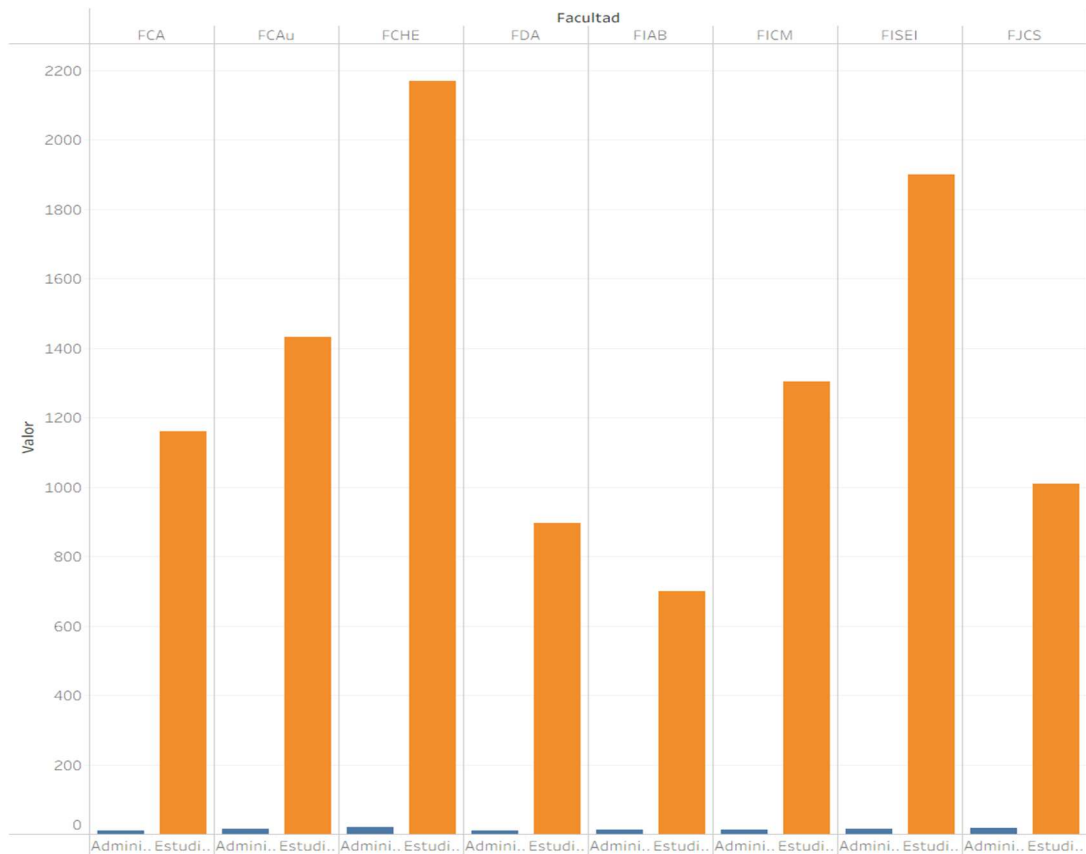


Figura 1 Distribución poblacional por facultad del campus Huachi.

Desde la perspectiva de la distribución por unidades académicas, la facultad de Ciencias Humanas y de la Educación (FCHE) concentra el mayor volumen de usuarios con 2,307 personas (20.05%), seguida por la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial (FISEI) con 2.002 usuarios (17.8%). En el extremo opuesto, la Facultad de Ingeniería en Alimentos y Biotecnología (FIAB) registra el menor contingente con 757 usuarios (6.7%). Que la demanda no este distribuida de forma pareja tiene consecuencias directas en cómo se diseña la red. Los nodos de FCHE y FISEI, que juntos concentran el 38.3% de toda la carga del campus, necesitan un dimensionamiento distinto al resto, tanto en cantidad de Access Points como de ancho de banda del enlace hacia el núcleo. Si se diseñara igual que los demás nodos, se estaría subestimando la demanda real y eso terminaría generando congestión en las horas pico.

En la Tabla 4 se observa la distribución poblacional del Campus Huachi del año 2026

Tabla 4. Distribución de usuarios por facultad, Campus Huachi-UTA, 2026

Facultad	Estudiantes	Docentes	Administrativos	Técnicos	Total	% Del Total
FICM	1,303	60	13	12	1,388	12.30%
FCA	1,160	62	11	0	1,233	11.00%
FDA	897	58	10	4	969	8.60%
FIAB	700	38	13	6	757	6.70%
FCHE	2,169	110	20	8	2,307	20.50%
FISEI	1,899	83	14	6	2,002	17.80%
FJCS	1,008	60	18	0	1,086	9.60%
FCAU	1,433	63	16	0	1,512	13.40%
TOTAL	10,569	534	115	36	11,254	100%

En la Figura 2 se puede identificar la densidad poblacional por facultad, siendo la FCHE la de mayor densidad.

Necesidades específicas de conectividad

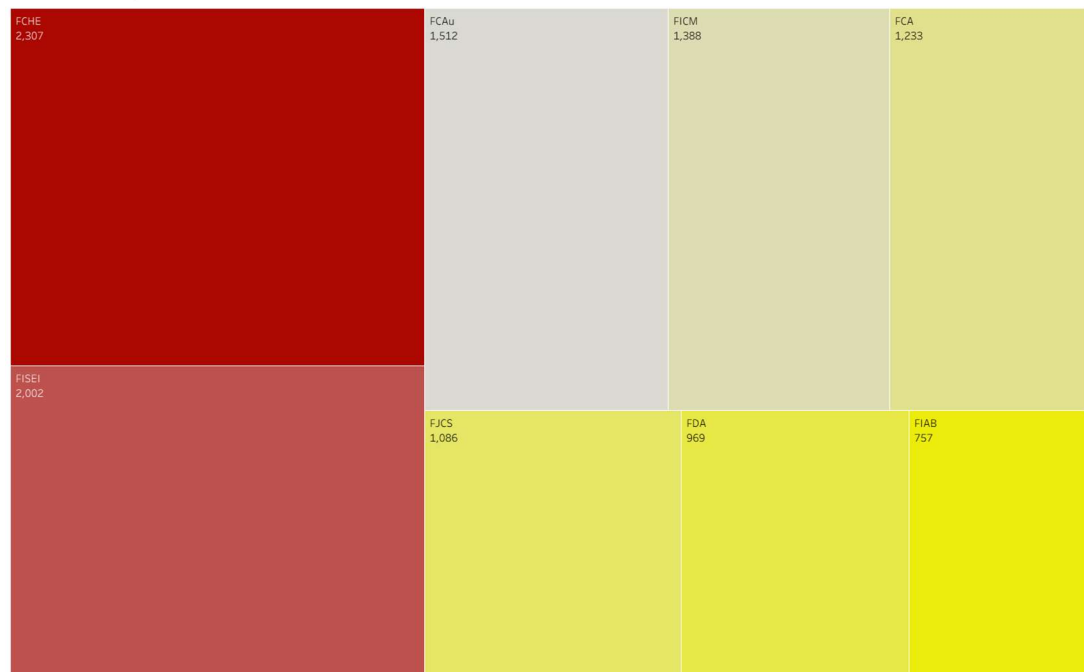


Figura 2. Densidad poblacional Campus Huachi año 2026

b. Proyección de la carga de dispositivos para 2026

Para determinar la carga de red en términos de dispositivos conectados, se aplicó un modelo de crecimiento anual compuesto (CAGR) sobre la base de 3.2 dispositivos por usuario registrada para 2023, conforme el Cisco Annual Report. Aplicando una tasa

de crecimiento anual del 7%, validada por el mismo reporte para América Latina, durante tres años, se obtiene una proyección de 3.92 dispositivos por usuario para 2026. Este valor es coherente con reportes de entornos universitarios norteamericanos que documentan promedios de 4.5 dispositivos por usuario para el 2024, evidenciando una convergencia hacia la tendencia global de proliferación de dispositivos de usuario en campus educativos. [55] [56]

El modelo incorpora adicionalmente una tasa de dispositivos de infraestructura por usuario ($k = 1.6$), derivada de la metodología del Cisco Annual Internet Report, que establece que la conexión maquina a máquina (M2M) representan aproximadamente el 50% del total de dispositivos en redes contemporáneas. Esta corrección es técnicamente significativa porque una planificación basada exclusivamente en dispositivos de usuario subestimaría la carga total de la red en un margen del 40%, comprometiendo el dimensionamiento de los equipos activos. El resultado agregado es una carga total proyectada de 62,122 dispositivos para el 2026 ($5.52 \cdot 11,254$), de los cuales 44,115 corresponden a dispositivos de usuario y 18,007 a infraestructura de red. [55] [57]

La interpretación de estos resultados revela que la FCHE y la FISEI concentran 9,043 y 7,848 dispositivos de usuario respectivamente, sumando 16,891 dispositivos, el 38.3% de la carga total del campus, en apenas dos de los 8 nodos de la red. Esta concentración justifica que el diseño de red asigne a estos dos nodos el mayor número de Access Points proyectados (32 y 27) respectivamente para 2026 y la mayor reserva de capacidad de ancho de banda. Si se omitiera este análisis diferenciado por facultad, se produciría una sub asignación de recursos en los nodos de mayor densidad, con consecuencias directas en la calidad del servicio percibida por los usuarios en horas pico.

- **Numero de dispositivos por usuario para el año 2026**

Cálculo del número de dispositivos por usuario mediante la Ecuación 1, como una proyección de crecimiento compuesto

$$NDU_{2026} = NDU_{2023}(1 + r)^t \quad (1)$$

Donde:

- NDU_{2026} : número de dispositivos por usuario para el año 2026
- $NDU_{2023} = 3.2$ numero de dispositivos por usuario para el 2023
- Taza de crecimiento anual compuesta del número de dispositivos por usuario
r: 0.07
- t : 3 años

$$NDU_{2026} = 3.2(1 + 0.07)^3$$

$$NDU_{2026} = 3.2 * 1.225043$$

$$NDU_{2026} = 3.92$$

- **Número total de dispositivos de la población de la UTA-Huachi (carga estimada)**

Mediante la Ecuación 2 se determinó la carga estimada en la red de internet del campus Huachi.

$$CargaEstimada_{2026} = NDU_{2026} * N \quad (2)$$

$$CargaEstimada_{2026} = 3.92 * 11,254$$

$$CargaEstimada_{2026} = 44,115$$

- **Total, de dispositivos por usuario incluyendo dispositivos de infraestructura**

La Ecuación 3 es la tasa de dispositivos de infraestructura por usuario (k)

$$k = NDU_{2026} * 0.5 \quad (3)$$

$$k = 1.6$$

La Ecuación 4 determina el número total de dispositivos de la red, incluyendo, routers, cámaras, impresoras, etc.

$$Total_NDU_{2026} = NDU_{2026} + k \quad (4)$$

$$Total_NDU_{2026} = 3.92 + 1.6$$

$$Total_NDU_{2026} = 5.52$$

La Ecuación 5 determina el número total de dispositivos de la población de la UTA-Huachi incluyendo dispositivos de infraestructura.

$$D = Total_NDU_{2026} * N \quad (5)$$

$$D = 5.52 * 11.254$$

$$D = 62,122$$

En la Tabla 5 se indica la carga de red aproximada para el año 2026.

Tabla 5. Carga de dispositivos de red para el año 2026

Facultad	Numero de dispositivos pertenecientes a la población de la UTA año 2026
FICM	5,441
FCA	4,833
FDA	3,798
FIAB	2,967
FCHE	9,043
FISEI	7,848
FJCS	4,257
FCAU	5,927
Total	44,115

La Figura 3 expone la comparación entre número de APs vs número de estudiantes del campus Huachi.



Figura 3. Comparación número de estudiantes vs número de APs por facultad del campus Huachi.

3.1.2 Resultados del objetivo específico 2: Diseño de la arquitectura Objetivo del PAI universitario

a. *Diseño de la Red FTTH/XGS-PON para la parroquia Celiano Monge*

Datos de la ciudad de Ambato: [58]

- Población urbana de la ciudad de Ambato año 2022: 177,316 habitantes
- Parroquias urbanas de Ambato: 9
- $A = 527$ *hectareas* Área de la parroquia Celiano Monge
- $Dp = 40.28$ *hab/hectarea* Densidad poblacional año 2022
- Crecimiento poblacional para el año 2026: 0.078 %

La ecuación 6 determina la población de la parroquia Celio Monge año 2022

$$P_{2022} = A * Dp \quad (6)$$

$$P_{2022} = 527 * 40.28$$

$$P_{2022} = 21,227$$

La Ecuación 7 determina la población de la parroquia Celio Monge año 2026

$n = 4$ periodo de años de la muestra

$$P_{2026} = P_{2022} * (1 + r)^n \quad (7)$$

$$P_{2026} = 21.227 * (1 + 0.078)^4$$

$$P_{2026} = 21.227 * (1.078)^4$$

$$P_{2026} = 28,665$$

Con la Ecuación 8 se calcula el número de hogares de la parroquia Celiano Monge año 2026

Número de personas por hogar $Np = 3.5$ [58]

$$NH_{2026} = \frac{P_{2026}}{Np} \quad (8)$$

$$NH_{2026} = \frac{28,665}{3.5}$$

$$NH_{2026} = 8,190 \text{ Hogares}$$

La ecuación 9 determina la demanda potencial de la parroquia Celiano Monge año 2026

Índice de penetración del servicio de internet para hogares $p = 0.62$ [4]

$$D_{2026} = NH_{2026} * p \quad (9)$$

$$D_{2026} = 8,190 * 0.622$$

$$D_{2026} = 5,094 \text{ hogares}$$

El análisis de demanda para la parroquia Celiano Monge, zona de extensión del servicio hacia la comunidad circundante al campus, partió de los datos del Censo de Población y Vivienda 2022 del INEC, que establece una densidad poblacional de 40.28 habitantes por hectárea para la ciudad de Ambato. Sobre el área de 527 hectáreas de la parroquia, se estima una población base de 21,227 habitantes para 2022. Aplicando la tasa de crecimiento anual del 0.78% reportada por el World Population Review para Ambato, la población proyectada para 2026 alcanza 28,665 habitantes, distribuidos en aproximadamente 8,190 hogares bajo la relación de 3.5 personas por hogar registrada en el Censo 2022. Con el índice de penetración de internet en hogares ecuatorianos de 62.2% reportada por el INEC para 2023, la demanda potencial del área asciende a 5,094 hogares. [47] [58] [59]

Este resultado es metodológicamente relevante porque establece que la demanda potencial (5,094 hogares) supera la capacidad instalada en la fase inicial del proyecto (350 puertos activos). Esta relación no implica insuficiencia del diseño, sino que evidencia la existencia de un mercado de expansión significativo para fases posteriores del proyecto, al tiempo que valida que la escala inicial de 756 puertos es un punto de entrada conservador y de bajo riesgo financiero para el operador. Desde la perspectiva de la brecha digital, el 37.8% de hogares sin acceso a internet fijo en la parroquia, aproximadamente 3,096 hogares, representa el segmento objetivo de inclusión digital que el PAI universitario puede servir en su proyección de mediano plazo. [58]

- ***Selección tecnológica: XGS-PON bajo ITU-T G.9807.1***

La selección de XGS-PON (10 Gigabit-capable Symmetric Passive Optical Network) como tecnología de acceso se fundamenta en tres argumentos técnicos derivados directamente de los resultados del dimensionamiento. Primero, la demanda de ancho de banda agregado proyectada para 2026 alcanza 57.75 Gbps en el Campus-Huachi ($154 \text{ APs} * 50 \text{ Usuarios} * 15 \text{ Mbps} * 0,5$), valor que supera ampliamente la capacidad de la tecnología GPON predecesora, mientras que XGS-PON provee 10 Gbps simétricos por puerto del OLT, suficientes para el perfil de demanda proyectado. Segundo, el presupuesto óptico de la clase N2 (31-32 dB) es compatible con la topología de splitteo en cascada $1:8 + 1:16 = 1:128$, con una infraestructura de menor costo de inversión pasiva. Tercero, XGS-PON ofrece coexistencia con GPON mediante separación de

longitudes de onda (1270/1577 nm versus 1310/1490 nm), lo que protege la inversión en infraestructura pasiva ante eventuales actualizaciones tecnológicas. [18] [60]

- ***Topología de la red y segmentación en capas***

La arquitectura diseñada adopta una topología punto a multipunto (P2MP), conforme al modelo de referencia de la norma ITU-T G.984.1 para redes ópticas pasivas. La red se segmenta en tres capas con roles diferenciados. La red troncal utiliza cable ADSS G.652.D de 24 hilos desplegado sobre postes de la red eléctrica en cuatro ramas: noreste (2.4 km), noroeste (2.0 km), sureste (1.7 km) y suroeste (3.0km), para una longitud troncal máxima de 3.0 km. La red de distribución conecta 12 mangas de distribución (3 por rama). Y mediante fibra ADSS de 6 hilos con tramos máximos de 500 metros, cada manga equipada con un splitter PLC 1:8 genera la red de dispersión que comprende 48 cajas NAP de 16 puertos cada una, con splitters 1:16, desde las cuales se tiende la acometida domiciliaria en fibra G.657A2 de 2 hilos con longitud máxima de 180 metros.

En la Figura 4, se muestra la distribución troncal del PAI universitario en la parroquia Celiano Monge.

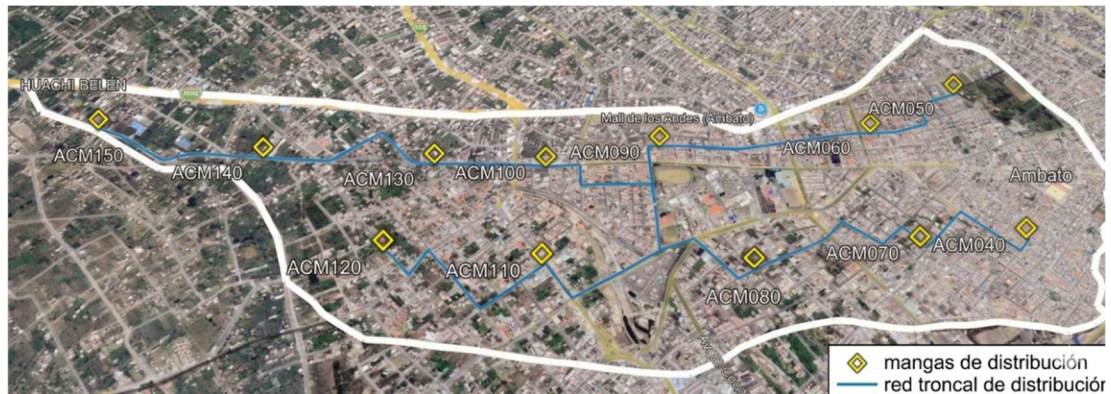


Figura 4. Red de distribución PAI universitario parroquia Celiano Monge

La combinación del splitteo en cascada 1:8 en el primer nivel y 1:16 en el segundo nivel produce una razón de división total de 1:128 por puerto de OLT, que es el límite máximo permitido por el estándar XGS-PON según la ITU-T G.9807.1. Esta decisión de diseño maximiza el número de clientes atendidos por puerto de OLT, optimizando el coste del equipamiento activo, al tiempo que permanece dentro de los límites

normativos de presupuesto óptico. El resultado es una infraestructura capaz de atender más de 1500 clientes ($96 \text{ NAPs} \times 16 \text{ puertos} = 1536 \text{ clientes}$) con un único chasis de OLT de 16 puertos activos, lo que optimiza el CAPEX de la fase inicial y provee una ruta de escalabilidad lineal mediante la activación de puertos adicionales. [61] [18]

En la Figura 5 se observa la red de dispersión del PAI universitario en la parroquia Celiano Monge.

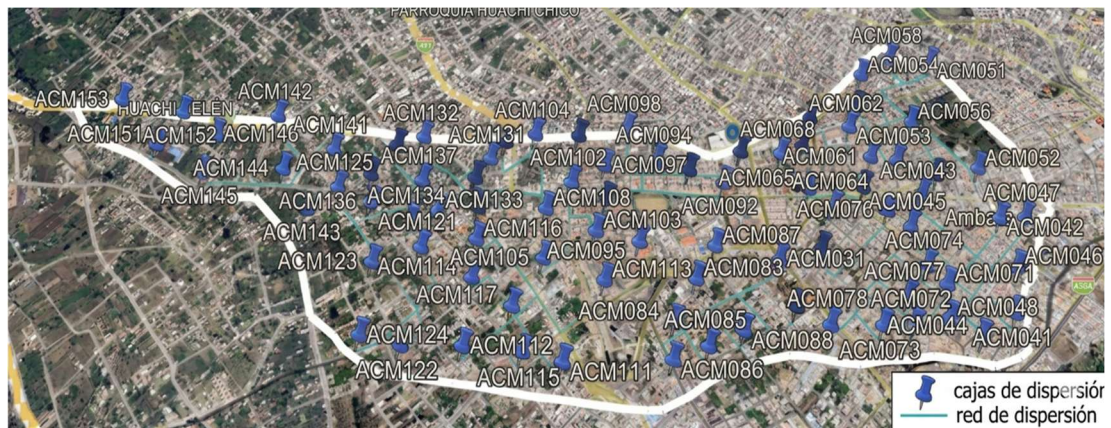


Figura 5. Red de dispersión del PAI universitario en la parroquia Celiano Monge

En la Figura 6 se observa el diagrama esquemático de red de PAI universitario en la Parroquia Celiano Monge

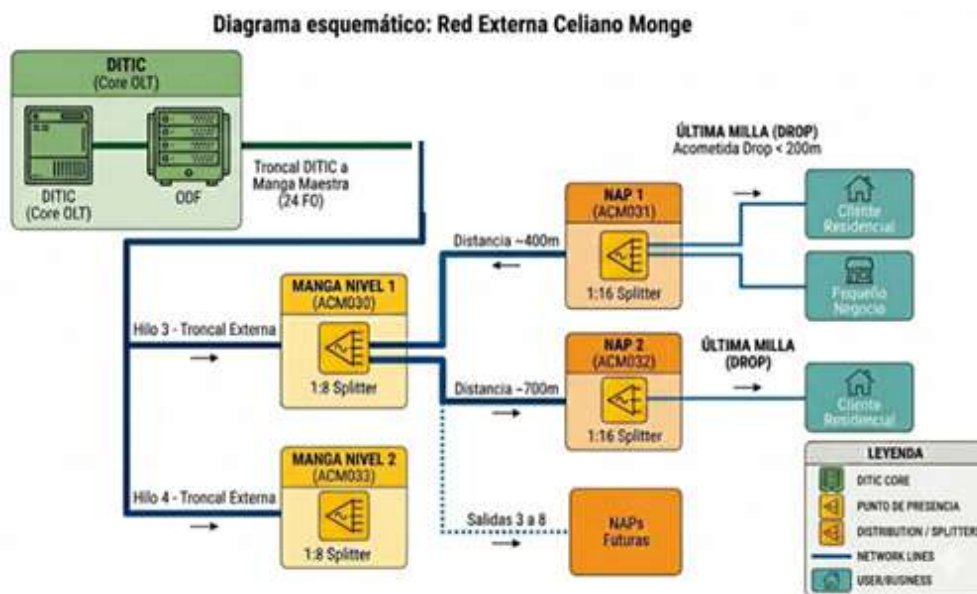


Figura 6. Diagrama esquemático planta externa parroquia Celiano Monge

b. Dimensionamiento de Access Points: Campus Huachi-UTA 2026 y 2030

El dimensionamiento de APs para el campus se realizó aplicando la metodología de demanda de ancho de banda agregado propuesto por Hossain para redes de campus de nueva generación, con los siguientes parámetros: capacidad máxima de 50 usuarios concurrentes por AP (conforme a las guías de diseño de Cisco y HPE Aruba para entornos de alta densidad), factor de utilización de AP de 0.7 (reserva del 30% para overhead administrativo y sobrecarga), factor de jornada académico de 0.5 (distribución en dos jornadas) y factor de utilización simultánea de 0.5 (no todos los dispositivos conectados transmiten simultáneamente). Bajo estos parámetros, el total de APs requerido para 2026 es de 154, frente a los 206 APs existentes. Esta aparente reducción no implica disminución de la capacidad, sino una redistribución optimizada que elimina la sobredotación en nodos de baja demanda (FIAB, FICM, FCA, FDA, FCAU) y refuerza los nodos de alta densidad (FCHE, FISEI). [57] [62] [63]

Fue necesario primero determinar la población universitaria para el horizonte 2030, además calcular la proyección de carga estimada para la red del campus huachi.

Mediante un modelo de crecimiento exponencial continuo Ecuación 10 se determina la demanda proyectada para el año 2030

Donde:

- Población final (P_n): 16,517 año 2024
- Población inicial (P_o): 15,500 año 2022
- Tiempo (t): 2 años

$$P_t = P_o * e^{(r.t)} \quad (10)$$

Los resultados obtenidos en la investigación “Commencing-Student Enrolment Forecasting Under Data Sparsity with Time Series Foundation Models” en New Zealand muestran que se pueden usar modelos clásicos de pronósticos como líneas base para la evolución de matrícula estudiantil. [64]

Despejando r de la Ecuación 10 obtenemos la tasa de crecimiento anual.

$$r = \ln\left(\frac{P_1}{P_0}\right) / t$$

$$r = \ln\left(\frac{16,517}{15,500}\right) / 2$$

$$r = \ln(1.06561) / 2$$

$$r = \frac{0.063526}{2}$$

$$r = 0.031763$$

El crecimiento anual de la población universitaria es 3.18%.

$$P_{2030} = P_{2026} * e^{(r.t)}$$

$$P_{2030} = 11,254 * e^{(0.031763*4)}$$

$$P_{2030} = 11,254 * e^{(0.127052)}$$

$$P_{2030} = 11,254 * 1.1356$$

$$P_{2030} = 12,779$$

La población universitaria estimada para el año 2030 es de 12,779 estudiantes.

Además, se verifica la población estudiantil estimada para el 2030 con un modelo de crecimiento anual compuesto Ecuación 11.

$$r = \left(\frac{P_n}{P_0}\right)^{\frac{1}{t}} - 1 \quad (11)$$

$$r = \left(\frac{16.517}{15.500}\right)^{\frac{1}{2}} - 1$$

$$r = 0.0322$$

Se verifica una tasa de crecimiento anual de la población universitaria de 3.22%.

Despejando de la Ecuación 11 se calcula la población universitaria para el año 2030 a través del modelo de crecimiento anual compuesto.

Donde:

- $P_{2026} = 11,254$
- $r = 0.0322$
- *numero de años a futuro $n = 4$*

$$P_{2030} = P_{2026} * (1 + r)^n$$

$$P_{2030} = 11,254 * (1.0322)^4$$

$$P_{2030} = 12,790 \text{ estudiantes}$$

Modelo 1: Crecimiento exponencial continuo 12,779 estudiantes

Modelo 2: Crecimiento anual compuesto 12,790 estudiantes

Existe una mínima diferencia en el cálculo entre el modelo 1 y 2.

En la Tabla 6 se indica el número de estudiantes en el horizonte 2030 para el campus Huachi, distribuidos en ocho facultades.

Tabla 6. Proyección de estudiantes al año 2030 campus Huachi

Facultad	Proyección de Estudiantes año 2030
FICM	1,576
FCA	1,400
FDA	1,100
FIAB	859
FCHE	2,619
FISEI	2,273
FJSC	1,233
FCAU	1,716

- ***Carga de la red estimada para el año 2030***

Datos:

- Número de usuarios año 2030 (N): 12,790
- Numero de dispositivos por usuario para el 2026 (NDU): 3.92
- Taza de crecimiento anual compuesta del número de dispositivos por usuario
r: 0.07

Mediante la Ecuación 12(formula de crecimiento anual compuesto) se determina el número de dispositivos por usuario para 2030

$$NDU_{2030} = NDU_{2026}(1 + r)^t \quad (12)$$

Donde:

- NDU_{2030} : Numero de dispositivos por usuario para el año 2030
- NDU_{2026} : Numero de dispositivos por usuario para el año 2026
- r: 0.07
- t: 4 años

$$NDU_{2030} = 3.92(1 + 0.07)^4$$

$$NDU_{2030} = 3.92 * 1.3107$$

$$NDU_{2030} = 5.14$$

Para determinar el Número total de dispositivos pertenecientes a la población de la UTA (carga estimada) multiplicamos el número de dispositivos por usuario por el total de la población, Ecuación 13.

$$CargaEstimada_{2030} = NDU_{2030} * N \quad (13)$$

$$CargaEstimada_{2030} = 5.14 * 12,790$$

$$CargaEstimada_{2030} = 64,740$$

El número de dispositivos en una red incluye además los equipos administrativos de la red, como, cámaras, routers, impresoras, equipos IoT. Para este cálculo incluimos una tasa de dispositivos de infraestructura por usuario estimado en la Ecuación 14. [63]

$$k = NDU_{2030} * 0.5 \quad (14)$$

$$k = 2.57$$

La tasa de dispositivos por usuario para el año 2030, incluyendo los dispositivos de infraestructura es la suma de la tasa de dispositivos de usuario más la tasa de dispositivos de infraestructura, determinados con la Ecuación 15.

$$Total_NDU_{2030} = NDU_{2030} + k \quad (15)$$

$$Total_NDU_{2030} = 5.14 + 2.57$$

$$Total_NDU_{2030} = 7.71$$

Para determinar la carga real de dispositivos de la red de la UTA-Huachi en el horizonte 2030 multiplicamos el total de dispositivos de la Ecuación 15 por el número total de estudiantes determinados. Ecuación 16.

$$D = Total_NDU_{2026} * N \quad (16)$$

$$D = 7.71 * 12,790$$

$$D = 98,610$$

En la Tabla 7 se puede observar la carga estimada de la red, estimada para cada facultad.

Tabla 7. Carga estimada de la red para el año 2030

Facultad	Numero de dispositivos pertenecientes a la población de la UTA año 2030
FICM	8,099
FCA	7,194
FDA	5,654

Facultad	Numero de dispositivos pertenecientes a la población de la UTA año 2030
FIAB	4,417
FCHE	13,461
FISEI	11,681
FJSC	6,336
FCAU	8,822

- **Dimensionamiento del número de APs para el año 2026**

Para determinar el número total de APs, necesarios para cubrir la carga de la red se decidió tomar en cuenta los siguientes datos:

- Usuarios máximos a soportar (U): 50 Usuarios [65] [66]
- Factor de utilización de cada router para reservar un rango de utilidad a sobrecargas inesperadas y el propio trabajo administrativo del router (fu): 0.7 [67]
- Carga estudiantil dividida en dos jornadas (ce): 0.5 [68] [69] [70]
- Factor de utilización simultanea c: 0.5 [71]

El número de APs para el año 2026 se calculó mediante la Ecuación 17.

$$Total_APS_{2026} = CargaEstimada_{2026} * \left(\frac{1}{U}\right) * fu * ce * c \quad (17)$$

$$Total_APS_{2026} = 44,115 * \left(\frac{1}{50}\right) * 0.7 * 0.5 * 0.5$$

$$Total_{APS_{2026}} = 154$$

En la Tabla 8 se identifica el número de APs necesarios para cada facultad en el año 2026.

Tabla 8. Dimensionamiento de Access Points por facultad 2026

Facultad	Carga de red estimada 2026	# APs 2026
FICM	5440.96	19
FCA	4833.36	17
FDA	3798.48	13
FIAB	2967.44	10
FCHE	9043.44	32
FISEI	7847.84	27
FJCS	4257.12	15
FCAU	5927.04	21

- **Dimensionamiento del número de APs para el año 2030**

$$Total_APS_{2030} = CargaEstimada_{2030} * \left(\frac{1}{U}\right) * fu * ce * c$$

$$Total_APS_{2030} = 65,740 * \left(\frac{1}{50}\right) * 0.7 * 0.5 * 0.5$$

$$Total_{APS_{2030}} = 230$$

En la Tabla 9 se muestra el número de Access Points necesarios para el horizonte 2030

Tabla 9. Dimensionamiento de Access Points por facultad 2030

Facultad	Carga de red proyectada 2030	# Aps 2030
FICM	8098.56	28.34
FCA	7194.19	25.18
FDA	5653.82	19.79
FIAB	4416.87	15.46
FCHE	13460.65	47.11
FISEI	11681.07	40.88
FJCS	6336.48	22.18
FCAU	8822.07	30.88

- **Ancho de banda estimado para el año 2026 y 2030**

El cálculo de la demanda de ancho de banda agregado se realizó mediante la Ecuación 18. [72]

$$L_{UTA} = (N_{APs} * C) * B_w * F_s \quad (18)$$

Donde:

- N_{APs} : Numero de Access Points proyectados.
- $C = 50$, Capacidad de usuarios concurrentes por AP.
- $B_w = 15Mbps$ Ancho de banda asignado por usuario
- $F_s = 0.5$ Factor de simultaneidad

$$L_{2026} = (N_{APs} * C) * B_w * F_s$$

$$L_{2026} = 154 * 50 * 15000 * 0.5$$

$$L_{2026} = 57.75 Gbps$$

Para el año 2026 se calcula un ancho de banda requerido de 57.75 Gbps

$$L_{2030} = (N_{APs} * C) * B_w * F_s$$

$$L_{2030} = 230 * 50 * 15000 * 0.5$$

$$L_{2030} = 86.25 Gbps$$

Mientras que para el año horizonte 2030 se calcula un ancho de banda de 86.25 Gbps.

La proyección para el año 2030 utiliza los mismos métodos demográficos y de escalabilidad de dispositivos: una tasa de crecimiento poblacional de 3.18% anual (derivada de los cálculos obtenidos del DIPLEV y del Informe de Rendición de cuentas) y una tasa de crecimiento de dispositivos por usuario del 7% anual. Los resultados muestran una población universitaria de 12,790 estudiantes en el 2030, con 5.14 dispositivos por usuario y una carga total de 64,740 dispositivos de usuarios, requiriendo 230 APs, un incremento del 49,4 % respecto a 2026, y un ancho de banda de 86.25 Gbps. Esta proyección valida que la infraestructura de fibra de 24 hilos seleccionada para la red troncal provee capacidad de expansión suficiente para el horizonte de planificación, ya que los 24 hilos permiten acomodar múltiples puertos de OLT adicionales sin necesidad de remplazar el cableado. [64] [65]

c. Diagnóstico de la Infraestructura de Red Existente

El levantamiento técnico de la infraestructura de red del Campus Huachi identificó una base tecnológica que incluye: red de fibra óptica como medio de transmisión principal, sistema de canalización soterrada y 206 Access Points distribuidos en las ocho facultades. No obstante, la distribución actual de APs presenta inconsistencias respecto a la distribución de la demanda: la FIAB, con la menor población del campus (757 usuarios), cuenta con 38 APs, mientras que la FCHE, con mayor población del campus (2,307 usuarios) dispone de apenas 12 APs. Esta inversión en la relación usuario/AP configura una situación crítica de subutilización con FIAB y de saturación estructural en FCHE, lo que es directamente consistente con las deficiencias de calidad de servicio reportadas en la entrevista semiestructurada realizada en las 8 facultades del campus.

Esta desigualdad en la distribución de la infraestructura inalámbrica confirma lo que ya señalaba el perfil de titulación: saturación del servicio de internet inalámbrico, acceso limitado y falta de supervisión del ancho de banda. A partir de este análisis se puede concluir que el problema de calidad del servicio en el campus no es simplemente que falte capacidad de acceso general, sino que los recursos de red están mal distribuidos y no coinciden con los nodos donde realmente está concentrada la demanda. Esta conclusión tiene implicaciones metodológicas directas: el rediseño del PAI universitario no puede limitarse a incrementar la capacidad total, sino que debe redistribuir y optimizar los recursos existentes con base en la demanda real por nodo.

La Tabla 10 muestra la distribución de APs existentes por facultad.

Tabla 10. Distribución de APs existentes vs distribución de demanda

Facultad	APs Actuales	Usuarios 2026	Usuario/APs Actual	APs Proyectados 2026	Estado
FICM	30	1,388	46	19	Sobredimensionado
FCA	34	1,233	36	17	Sobredimensionado
FDA	24	969	40	13	Sobredimensionado
FIAB	38	757	20	10	Sobredimensionado

Facultad	Aps Actuales	Usuarios 2026	Usuario/Aps Actual	Aps Proyectados 2026	Estado
FCHE	12	2,307	192	32	Saturado
FISEI	22	2,002	91	27	Insuficiente
FJCS	14	1,086	78	15	Insuficiente
FCAU	32	1,512	47	21	Sobredimensionado
TOTAL	206	11,254		154	Redistribución necesaria

d. Validación del Presupuesto Óptico del Enlace XGS-PON

El análisis del presupuesto óptico es la prueba técnica clave para verificar que el enlace funciona en el peor escenario posible. Ese escenario crítico corresponde al cliente más alejado de la red, ubicado al final del ramal suroeste a 3.58 km de distancias total desde la OLT (2.9 km de troncal + 0.5 km de distribución ADSS + 0.18 km de acometida drop). Este escenario concentra simultáneamente la mayor distancia de fibra y la mayor pérdida por splitteo de la red, representando el caso de prueba más adverso posible dentro de los parámetros de diseño. [66]

Para determinar la potencia óptica con la que la señal llega a los clientes se toma en cuenta la potencia óptica transmitida desde la OLT menos las pérdidas producidas a lo largo de la red hasta llegar al cliente, estas pérdidas incluyen pérdida por kilómetro de fibra recorrido por la señal, pérdidas por splitteo de primer nivel y segundo nivel, pérdidas por empalmes de fusión y las pérdidas producidas por el uso de conectores. [18]

En la Tabla 11 se observa las pérdidas por Inserción (Componentes Pasivos).

Tabla 11. Pérdidas por inserción (componentes pasivos)

Componente	Cantidad	Pérdida Unitaria	Pérdida total
Splitter 1:8 (Primer Nivel)	1	10.5 dB	10.5 dB
Splitter 1:16 (Segundo Nivel)	1	13.8 dB	13.8 dB
Empalmes por Fusión	8	0.05 dB	0.4 dB
Conectores SC/APC	4	0.3 dB	1.2dB
Pérdida Pasiva Total	-	-	25.9 dB

La pérdida por distancia se calcula mediante la Ecuación 19.

$$L_{fibra} = distancia * 0.35 \frac{dB}{km} \quad (19)$$

Datos:

- Troncal: 2.9 km
- Distribución (ADSS): 0.5 km
- Acometida (Drop): 0.18 km
- Distancia total: 3.58 km

$$L_{fibra} = 3.58 \text{ km} * 0.35 \frac{dB}{km}$$

$$L_{fibra} = 1.25 \text{ dB}$$

El balance óptico final se determina mediante la Ecuación 20.

$$P_{rx} = P_{tx} - (L_{pasivos} + L_{fibra} + L_{margen}) \quad (20)$$

Donde:

- Potencia de salida de OLT (mínima) P_{tx} : +4dBm
- $L_{pasivos}$: 25.9 dB
- L_{fibra} : 1.25 dB
- *Margen de diseño*: 3 dB

$$P_{rx} = 4 - (25.9 + 1.25 + 3.0)$$

$$P_{rx} = -26.15 \text{ dBm}$$

Se verifica el enlace óptico utilizando la Ecuación 21.

$$Margen_residual = P_{rx} - Limite_sensibilidad_{ONT} \quad (21)$$

Nivel de recepción calculado: -26.15 dBm

Límite de sensibilidad ONT: -28.00 dBm

$$\text{Margen}_{\text{residual}} = 1.85 \text{ dB}$$

El cálculo de pérdidas totales del enlace suma: 10.5 dB por splitter 1:8 de primer nivel, 13.8 dB por splitter 1:16 de segundo nivel, 1.2 dB por cuatro conectores SC/APC (0.3 dB * 4), 0.4 dB por ocho empalmes de fusión (0.05 dB * 8), y 1.25 dB por atenuación de fibra G.652.D (0.35 dB/km * 3.58 km). La pérdida pasiva total asciende a 27,15 dB. Incorporando un margen de diseño conservador de 3 dB, que anticipa la degradación de conectores y empalmes por envejecimiento de los componentes a lo largo de la vida útil de la red, la potencia de recepción calculada en la ONT es de -26.15 dBm. Dado que el límite de sensibilidad del receptor de la ONT clase N2 definido por la ITU-T G.9807.1 es de -28 dBm, en enlace presenta un margen residual positivo de +1.85 dB, superando el requerimiento mínimo de 1.0 dB establecido por el mismo estándar para redes con distancias de diseño superiores a 20 km. [18] [21]

En la Tabla 12 se muestra el balance de pérdidas del enlace óptico más crítico de la red.

Tabla 12. Balance de pérdidas del enlace óptico, escenario critico

Componente	Cantidad	Perd. Unit (dB)	Perd. Total (dB)	Referencia
Splitter PLC 1:8 (Nivel 1)	1	10.5	10.5	ITU-T G.9807.1
Splitter PLC 1:16 (Nivel 2)	1	13.8	13.8	ITU-T G.9807.1
Conectores SC/APC	4	0.3	1.2	IEC 61300-3-4
Empalmes por fusion	8	0.05	0.4	ITU-T G.9807.1
Atenuacion fibra G.652.D (3.58 km *0.35 dB/km)	-	-	1.25	ITU-T G.652
Perdida pasiva total	-	-	27.15	-
Margen de diseño (degradacion)	-	-	3	Practica de diseño
Potencia recibida ONT (Ptx = +4 dBm)	-	-	-26.15	Validado (>= -28 dBm)
Margen Residual	-	-	1.85	Validado (>= 1.0dB)

El margen de + 1.85 dB supera el umbral mínimo requerido (1.0 dB), lo que valida la viabilidad óptica del enlace incluso en el escenario más desfavorable. Este resultado es técnicamente significativo porque el margen positivo garantiza la continuidad del servicio durante el proceso de degradación gradual de los componentes pasivos a lo largo del ciclo de vida de la red, estimado en más de 25 años para la fibra G.652.D, sin necesidad de intervención o remplazo prematuro de equipos. La holgura de 0.85 dB adicional sobre el mínimo normativo representa un factor de seguridad del 85% sobre el requisito de referencia, aceptable para un diseño de red de acceso FTTH residencial. [18] [67]

e. Capacidad de ancho de banda y Análisis del Modelo XGS-PON con Splitteo 1:128

Se calcula el ancho de banda garantizado teórico por usuario (en modelo sin sobresuscripción) utilizando la Ecuación 22. [76]

$$BW_{usuario} = \frac{Capacidad_total_{XGS-PON}}{Splitteo_{total}} \quad (22)$$

$$BW_{usuario} = \frac{10.000Mbps}{128}$$

$$BW_{usuario} = 78.125 \text{ Mbps por ONT}$$

Desde la perspectiva operacional de un proveedor de servicios de internet ISP, el ancho de banda ofrecido a los usuarios se basa en un modelo de sobresuscripción, el cual refleja la naturaleza estadística del tráfico y el hecho de que no todos los usuarios demandan simultáneamente su capacidad máxima. El ancho de banda teórico disponible por ONT bajo el modelo de splitteo 1:128, en condición sin sobresuscripción, es de 78.125 Mbps simétricos (10,000Mbps/128). Este valor supera el umbral de los 30Mbps que la Comisión de Banda Ancha de la UIT/UNESCO define como conectividad de calidad para hogares en economías en desarrollo, y se aproxima al objetivo de 100 Mbps que la misma comisión establece para 2025. El mecanismo de Asignación Dinámica de Ancho de Banda (DBA) de XGS-PON, definido en la ITU-T G.9807.1, permite que en condiciones de baja concurrencia los usuarios accedan temporalmente a tasas mayores, mejorando la experiencia percibida sin

comprometer la equidad en el acceso durante las horas de mayor demanda. [68] [77] [18]

La selección de Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax) como tecnología de distribución inalámbrica en la última milla con velocidades de hasta 9.6 Gbps en configuración de 8 flujos MIMO y 160 MHz de ancho de canal, y con la adopción de OFDMA para servicio simultáneo a múltiples usuarios, hace que sea la mejor opción inalámbrica porque aprovecha el ancho de banda disponible en el acceso XGS-PON. En particular, el mecanismo Target Wake Time de Wi-Fi 6 es relevante para el entorno del campus, donde la alta densidad de dispositivos IoT, sensores, cámaras, sistemas de control de acceso, requiere una gestión eficiente del medio radioeléctrico compartido para evitar la degradación de la experiencia en dispositivos de usuario convencionales. [70] [71]

f. Nomenclatura de la red de distribución, dispersión y última milla.

La nomenclatura ACM-XXY-ZZZZ es un código de identificación estructural que posibilita la localización unívoca de elementos en cualquier punto de la red. Semánticamente su estructura está dada por:

ACM: Iniciales de la zona geográfica del proyecto (Ambato, parroquia Celiano Monge).

XX0: Código numérico correlativo al número de puerto de la OLT y número de manga (010 a 150 número de puerto de la OLT y número de manga).

XXY: Subíndice numerito Y, correspondiente al nivel 1 de splitteo (011 a 018 para cajas NAP).

ZZZZ: Código numérico correlativo al número de ont/cliente de la red (0001 a 9999).

Con esta nomenclatura proporcionamos dos tipos críticos de mantenimiento:

Mantenimiento preventivo: Un técnico puede identificar la ubicación física exacta de una manga, de una caja y del puerto de la OLT de donde proviene dicha manga, caja y cliente. Facilitando el trazado de rutas de inspección periódicas (limpieza de conectores, revisión de hebras de mensajería y OTDR)

Mantenimiento correctivo: De presentarse una alarma LOS (perdida de señal) en la OLT, un técnico o sistema de gestión puede identificar el puerto afectado, mediante su código ACM-XXY-ZZZZ. Esto reduce el tiempo de localización de fallos, mejorando la calidad y eficiencia en la resolución de fallos.

3.1.3 Resultado del Objetivo Especifico 3: Validación de la Factibilidad Integral del PAI

a. Validación Técnica: Tabla de Cumplimiento de Parámetros

La validación técnica integral del diseño se realizó mediante la confrontación de cada parámetro de diseño con el requisito normativo o de referencia correspondiente. En un sistema PON (Passive Optical Network), el presupuesto óptico (PB, Power Budget) se define como la diferencia entre la potencia de transmisión y la sensibilidad del receptor, representando la máxima pérdida tolerable del enlace. Este margen debe ser superior a la suma de todas las pérdidas pasivas del enlace, incluyendo la atenuación de la fibra, los splitters, las pérdidas por empalmes y las pérdidas por conectores. [19] [80] [74]

La Tabla 13 sintetiza los resultados de esta validación, evidenciando el cumplimiento de todos los parámetros críticos del diseño.

Tabla 13. Tabla de validación técnica integral del diseño PAI

Parámetro	Valor de Diseño	Requisito Mínimo/ Referencia	Norma / Fuente	Estado
Potencia Recibida ONT (peor caso)	-26.15 dB	≥ -28 dBm	ITU-T G.9807.1	Validado
Margen de enlace óptico	+1.85 Db	≥ 1.0 dB	ITU-T G.9807.1	Validado
Splitteo total por puerto OLT	1:128	$\leq 1:128$ (clase N2)	ITU-T G.9807.1	Validado
BW teórico pon ONT	78.1 Mbps	≥ 30 Mbps (UIT/UNESCO)	UIT Broadband Commission	Validado
Fibra de acceso	G.652.D	G.652.X (fam.ITU-T)	ITU-T G.652	Validado

Parámetro	Valor de Diseño	Requisito Mínimo/ Referencia	Norma / Fuente	Estado
Cable exterior	ADSS autosoporte	Sin conducción eléctrica	Req. EEASA	Validado
Nomenclatura de red	ACM-XXY-ZZZZ	Identificación univoca	Practica operacional	Validado
Equipos Cliente Wi-Fi	Wi-Fi 6 (802.11ax)	Coherente con BW disponible	IEEE 802.11ax-2021	Validado
APs campus 2026	154 (redistribuidos)	206 actuales	Guías Cisco/HPE Aruba	Validado

El cumplimiento integral de los nueve parámetros evaluados en la tabla 9 constituye la evidencia técnica de que la arquitectura XGS-PON diseñada es factible para las condiciones geográficas, demográficas y de demanda del área del proyecto. Resulta especialmente significativo que el margen de enlace óptico del escenario crítico (1.85 dB) supere el umbral normativo mínimo (1.0 dB) precisamente en el punto de mayor adversidad del sistema, lo que garantiza que todos los demás puntos de la red, que representan menores distancias o menor splitteo, cumplirán los requisitos con mayor holgura. Este resultado es congruente con el método de diseño por caso límite (worst-case desing) recomendado en la literatura técnica de redes PON. [18]

b. Validación Económica-Financiera

• Estructura de la inversión CAPEX

La inversión total requerida para el despliegue de la red FTTH/XGS-PON en la parroquia Celiano Monge asciende a \$132,500.49 USD, incluyendo una reserva de contingencia del 5% (\$6,309.54 USD). La estructura del CAPEX revela que la mano de obra e instalación representa la categoría de mayor peso (33.0%), seguida por la infraestructura pasiva (27.1%), el equipamiento cliente (18.1%), los costes administrativos y legales (11.7%) y el equipamiento activo (10.1%). Este perfil de costos es consistente con la literatura especializada en despliegue de redes FTTH en América Latina, donde los costos de obra civil y mano de obra especializada representan típicamente entre el 50% y el 60% del CAPEX total, dado que el coste

marginal de los equipos activos ha disminuido significativamente en la última década. [72] [73]

Las Tablas 14, 15, 16, 17, 18 y 19 muestran la estructura del CAPEX del PAI universitario en secciones según la etapa de la red.

Tabla 14. CAPEX Infraestructura Pasiva del PAI universitario

Red Troncal - Backbone (fibra G.652.D 24h)						
No	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	Total (USD)	Especificación técnica
1	Cable ADSS G.652.D 24 hilos - troncal	m	9,702.00	0.68	6597.4	8.82 km 1.10 reserva = 9,702 m - vano max 80 m
2	Manga de distribución termosellable 48f IP68	Un	12	49.99	599.88	Empalme de planta externa en poste, organizador 12 bandejas
3	Herraje de suspensión ADSS doble (por vano)	Un	180	0.82	147.6	180 vanos troncal, percha + grapa preformada
4	Abrazadera de acero inox 12 - 16 cm	Un	240	1.8	432	Sujeción de mangas y cajas en postes
Red de distribución - Segundo nivel (fibra ADSS 6h)						
No	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	Total (USD)	Especificación técnica
1	Cable ADSS G.652.D 6 hilos - distribución	m	52,800.00	0.44	23232	8 tramos *12 mangas*500 m * 1.10 reserva = 52,800 m
2	Splitter PLC 1:8 conectorizado SC/APC	Un	12	4.59	55.08	1 por manga * 96 puertos
3	Caja NAP 16 puertos SC/APC IP 68	Un	96	34.99	3359	96 cajas * 16 puertos * montaje en poste * tapa sellada

No	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	Total (USD)	Especificación técnica
4	Splitter PLC 1:16 conectorizado SC/APC	Un	96	8	768	1 por NAP pers < 13.1 dB
5	Patchcord SC/APC - SC/APC duplex 1.5 m	Un	400	3.2	1280	ODF, bandejas y equipos activos
6	ODF rack 24p SC/APC para conexión	Un	1	67	67	Panel de distribución central
Ultima milla - Acometida domiciliaria						
No	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	Total (USD)	Especificación técnica
1	Cable drop G.657 ^a 2 2 hilos - acometida	m	152,064	0.09	13686	350 clientes * 180 m * 1.1 m reserva = 152,064.00 m
2	Abrazadera plastica de acometida + grapa	Un	768	0.89	683.52	Kit de fijación fachada
SUBTOTAL - INFRAESTRUCTURA PASIVA					50907.24	

Tabla 15. CAPEX Equipamiento activo del PAI universitario

EQUIPAMIENTO ACTIVO - CENTRAL (CORE)						
OLT XGS-PON y accesorios						
No	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	Total (USD)	Especificación técnica
1	OLT XGS-PON chasis - capacidad 5.120	Equipo	1	2,000	2000	Incluye chasis, fuente redundante y software base 16 puertos activos
2	Modulo SFP+ XGS-PON 10G para OLT	Un	16	49	784	1270 / 1577 nm clase B+ 1 modulo por puerto activo

Red Core, agregación y conectividad						
No	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	Total (USD)	Especificación técnica
1	Router de borde (Core Router) 10 GbE	Equipo	1	840	840	BGP/OSPF
No	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	Total (USD)	Especificación técnica
2	Switch de agregación gestionado 10 GbE	Equipo	1	400	400	VLAN, QoS, IGMP
Infraestructura de sala técnica						
No	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	Total (USD)	Especificación técnica
1	Rack abierto 19 “ 24 U con paneles ciegos y organizados	Un	1	268	268	Instalación OLT, router, switch, UPS, servidores
2	UPS trifásico 10 Kva + banco de baterías 2h	Equipo	1	200	200	Protección contra cortes y sobretensión
3	Sistema de climatización split	Equipo	1	294	294	Temperatura objetivo: 18 - 22 C
SUBTOTAL - EQUIPAMIENTO ACTIVO CORE					4786	

Tabla 16. CAPEX Equipamiento del cliente, PAI universitario

EQUIPAMIENTO CLIENTE - 768 SUSCRIPTORES				
Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	Total (USD)	Especificación técnica
Un	768	28	21504	Compatible ARCOTEL multiservicio
Un	768	45	34560	WPA3 MUMIMO bandas independientes
SUBTOTAL - EQUIPAMIENTO CLIENTE			56064	

Tabla 17. CAPEX Mano de obra para el PAI universitario

MANO DE OBRA E INSTALACION						
No	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	Total (USD)	Especificación técnica
1	Técnico	Un	1	648.19	2592.8	Salario básico + aporte IEES + 23.33 % provisiones
2	Ayudante	Un	1	648.19	2592.8	Salario básico + aporte IEES + 23.33 % provisiones
3	Administrativo	Un	1	648.19	648.19	Salario básico + aporte IEES + 23.33 % provisiones
SUBTOTAL - MANO DE OBRA E INSTALACION					5833.7	

Tabla 18. CAPEX Administrativos del PAI universitario

COSTOS ADMINISTRATIVOS, LEGALES Y REGULATORIOS						
No	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	Total (USD)	Especificación técnica
1	Permisos municipales uso de suelo y uso de postes	Global	1	2,800	2800	Permisos de tendido aéreo + derechos de vía publica
2	Licencia VSET / Registro ISP ARCOTEL	Global	1	1,800	1800	Registro de operador servicios de telecomunicaciones
3	Póliza de seguro todo riesgo de construcción	Global	1	2,200	2200	Cobertura de equipos + terceros + personal de obra
4	Gastos notariales, constitución de empresa y otros legales	Global	1	1,800	1800	Constitución legal ISP, contratos con proveedores
SUBTOTAL - COSTOS ADMINISTRATIVOS/LEGALES					8600	

Tabla 19. CAPEX Total del PAI universitario

SUBTOTAL ANTES DE CONTINGENCIA	126,190.95
Contingencia (5%) - Imprevistos, errores de diseño, inflación	6,309.5475
INVERSION TOTAL CAPEX (incluye contingencia 5%)	132,500.4975

- **Estructura de costos operativos OPEX**

Los costos operativos mensuales proyectados totalizan \$1,746 USD (\$20,956.56 USD anuales), con una tasa de crecimiento anual del 3% coherente con la inflación estimada en Ecuador. Los componentes de mayor peso son el personal técnico-administrativo (\$1,296.38 USD/mes, 74,23% del OPEX mensual) y el arrendamiento de postes (\$150 USD/mes). La capacidad de tránsito mayorista de 250 Mbps representa el tercer componente (\$150 USD/mes, 8.59%). Esta estructura de OPEX es eficiente porque la infraestructura pasiva, que representa el 27.1 % del CAPEX, no incurre en costos de energía ni mantenimiento frecuente, característica que diferencia estructuralmente las redes FTTH de las redes de cobre o coaxiales y contribuye a su mayor eficiencia económica a largo plazo. [74] [34]

La Tabla 20. Establece los costos OPEX del PAI universitario.

Tabla 20. Estructura de costos OPEX del PAI universitario

No	Descripción	Costo mensual (USD)	Costo Anual Inicial (USD)	Porcentaje del OPEX	Especificación
1	Personal Técnico - Administrativo	1,296.38	15556.56	74.23	Destinado a la operación, soporte de red y gestión del PAI
2	Arrendamiento de postes	150	1800	8.59	Pago a empresa eléctrica EEASA 800 POSTES * 0.7
3	Transito mayorista de internet	150	1800	8.59	Capacidad inicial instalada de 250 Mbps
4	Otros Costos Operativos	150	1800	8.59	Margen para gastos operativos indirectos e imprevistos
TOTAL, OPEX		1,746.38	20,956.56	100.00	

- *Comparación de precios de servicio de internet en Ambato y determinación de ARPU*

La Tabla 21. Muestra los precios del servicio de internet del mercado Ambateño.

Tabla 21. Precios de planes básicos de internet del mercado en Ambato

Operadora	Precio	Precio incluido IVA
Netlife	17.70	20.00
Xtrim	20.01	23.00
Fibramax	17.50	19.78
CBVISION	17.86	20.18
Concreteltec	18.48	20.88
Speddy	19.50	22.04
Fiber Store	19.49	22.40
Ecuonet	18.00	20.69
Infiniti	18.00	20.34
Celeriti	22.00	24.86
Claro	30.02	34.50

El ingreso promedio por usuario (ARPU) se justifica mediante un análisis de dos ejes: un eje financiero y otro de mercado. Tomando en cuante un OPEX mensual de 1,746 USD, y un precio de mercado que oscila entre 20 y 24 USD. El ARPU se calcula mediante la Ecuación 23. Se asumió varios valores de ARPU, y se determinó comparando los precios del servicio de internet del mercado en Ambato y manteniendo una sostenibilidad financiera entre el punto de equilibrio vs OPEX.

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{OPEX_{\text{mensual}}}{ARPU} \quad (23)$$

Donde:

- ARPU 1 = 20 USD
- ARPU 2 = 22 USD
- ARPU 3 = 26 USD

$$\text{Punto de equilibrio 1} = \frac{1,746}{20}$$

$$\text{Punto de equilibrio 1} = 87 \text{ Usuarios}$$

$$\text{Punto de equilibrio 2} = \frac{1,746}{22}$$

$$\text{Punto de equilibrio 2} = 79.36 \text{ Usuarios}$$

$$\text{Punto de equilibrio 3} = \frac{1,746}{26}$$

$$\text{Punto de equilibrio 3} = 67.15 \text{ Usuarios}$$

Al fijar un ARPU de 22 USD, el PAI universitario alcanza el equilibrio financiero con 80 clientes activos, esto a su vez valida con holgura la adopción del mercado propuesta, estimada en 30% para el primer año, de esta manera para el cuarto mes el PAI universitario tendría un margen de seguridad operativa viable y sustentable.

- ***Tasa de adopción del mercado***

La adopción del mercado potencial no es instantánea, a medida que se despliega la red los clientes van conectándose progresivamente. Para este diseño se adoptó la siguiente tasa de penetración sobre 768 clientes posibles. Que se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Tasa de adopción del mercado estimado.

Año	% de adopción	Clientes activos
Año 1	30 %	231
Año 2	55 %	422
Año 3	70 %	538
Año 4	80 %	614
Año 5	85 %	653

En la Tabla 23 se muestra los supuestos del modelo financiero con los que se desarrolla el análisis financiero.

Tabla 23. Supuestos del modelo financiero

#	Supuesto	Valor	Unidad	Justificación
1	CAPEX total (inversión año 0)	\$ 132,500	USD	OLT+ONTs+fibra+splitters+instalacion+ingenieria
2	ARPU	\$ 22.00	USD/cliente/mes	Precio promedio del mercado Ambato 2026
3	Capacidad total de clientes	768	ONTs	12 puertos OLT * splitter 1:8 (nivel 1) * splitter 1:16 (nivel 2) más de 100 puertos activos
4	OPEX mensual base (año 1)	\$ 1,746	USD/mes	Mayorista IP+arriendo postes+mantenimiento+RRHH
5	Crecimiento anual del OPEX	3.00%	% anual	Inflación estimada Ecuador 2024-2028
6	WACC	12%	%anual	Rendimiento mínimo exigido

- **Ingresos anuales**

Los ingresos anuales se obtuvieron de la Ecuación 24, multiplicando el número de clientes activos por el ARPU mensual y por los 12 meses del año.

$$Ingresos_{año} = Clientes_{activos} * ARPU * 12 \quad (24)$$

En la Tabla 24 se muestra los ingresos percibidos en cada año del PAI universitario

Tabla 24. Ingresos anuales PAI universitario

Año	Clientes	ARPU	Meses	Ingresos USD
Año 1	231	\$ 22	12	\$ 61,050
Año 2	422	\$ 22	12	\$ 111,408
Año 3	538	\$ 22	12	\$ 142,032
Año 4	614	\$ 22	12	\$ 162,096
Año 5	653	\$ 22	12	\$ 172,392

- ***Gastos operacionales anuales OPEX***

El OPEX crece un 3 % cada año debido a la inflación en el Ecuador y se determinó mediante la Ecuación 24.

$$OPEX_{año_t} = OPEX_{base} * 12 * (1 + g)^t \quad (24)$$

Donde:

- OPEX base: 1,746
- g: 3% anual
- t: número de años

La Tabla 25, muestra el OPEX de cada año hasta el horizonte 2030

Tabla 25. OPEX anual del PAI universitario

Año	OPEX base	Meses	OPEX anual
Año 1	\$ 1746	12	\$ 21,580
Año 2	\$ 1746	12	\$ 22,228
Año 3	\$ 1746	12	\$ 22,894
Año 4	\$ 1746	12	\$ 23,581
Año 5	\$ 1746	12	\$ 24,288

- ***Flujo de caja libre***

El flujo de caja libre es el dinero que queda disponible en cada periodo, después de pagar todos los costos operativos. Se obtiene mediante la Ecuación 25

$$FCL = Ingresos - OPEX \quad (25)$$

La Tabla 26 muestra el flujo de caja libre para cada año respectivo.

Tabla 26. Flujo de caja libre FCL del PAI universitario

Periodo	Ingresos	OPEX	FCL del periodo
Año 0	\$ 0	- \$ 132,5	-\$ 132,500
Año 1	\$ 61,050	- \$ 21,580	\$ 39,470
Año 2	\$ 111,408	-\$ 22,228	\$ 89,180
Año 3	\$ 142,032	-\$ 22,894	\$ 119,138
Año 4	\$ 162,096	-\$ 23,581	\$ 138,515
Año 5	\$ 172,392	-\$ 24,288	\$ 148,104

- **Factores de descuento WACC para cada año**

Para calcular cuánto vale cada dólar que el proyecto generara en el futuro usamos la Ecuación 26, y la tasa WACC del 12%.

$$Factor = \frac{1}{(1 + WACC)^t} \quad (26)$$

La Tabla 27, muestra los factores de descuento para cada año

Tabla 27. Factores de descuento por año

Periodo	Factor de descuento	Interpretación
Año 0	1	El dinero de hoy vale 100% de su valor
Año 1	0.89	\$ 1 recibido en un año vale \$ 0.89 hoy
Año 2	0.79	\$ 1 recibido en 2 años vale \$ 0.79 hoy
Año 3	0.71	\$ 1 recibido en 3 años vale \$ 0.71 hoy
Año 4	0.63	\$ 1 recibido en 4 años vale \$ 0.63 hoy
Año 5	0.56	\$ 1 recibido en 5 años vale \$ 0.56 hoy

- **Valor presente de cada Flujo de Caja Libre**

Para obtener cada VP utilizamos la Ecuación 27, que consiste en multiplicar cada FCL por su correspondiente factor de descuento y obtener cuánto vale ese flujo de caja en dólares en el presente.

$$VP = FCL * Factor de descuento \quad (27)$$

La Tabla 28, muestra el VP para cada año respectivamente

Tabla 28. Valor Presente (VP) de cada año

Periodo	FCL	Factor	VP
Año 0	-\$ 132,500	1	-\$ 132,500
Año 1	\$ 39,470	0.89	\$ 35,241
Año 2	\$ 89,180	0.79	\$ 71,093
Año 3	\$ 119,138	0.71	\$ 84,786
Año 4	\$ 138,515	0.63	\$ 88,026
Año 5	\$ 148,104	0.56	\$ 84,029

- **Valor actual neto VAN**

El valor actual neto es la suma algebraica (Ecuación 28) de todos los valores presentes calculados en la Tabla 23.

$$VAN = VP(0) + VP(1) + VP(2) + VP(3) + VP(4) + VP(5) \quad (28)$$

$$VAN = \$ 230,675$$

Al ser en VAN positivo el PAI universitario crea valor, es decir es rentable.

La tabla 29 muestra como el VAN acumulado evoluciona desde la inversión inicial hasta alcanzar un margen positivo.

Tabla 29. VAN acumulado año a año

Periodo	FCL	VP del FCL	VAN acumulado	Estado del proyecto
Año 0	-\$ 132,500	-\$ 132,500	-\$ 132,500	Año de inversión
Año 1	\$ 39,470	\$ 35,241	-\$ 97,259	Aun en recuperación
Año 2	\$ 89,180	\$ 71,093	-\$ 26,166	Casi recuperado
Año 3	\$ 119,138	\$ 84,786	\$ 58,620	Plazo de recuperación
Año 4	\$ 138,515	\$ 88,026	\$ 146,646	Rentabilidad Real
Año 5	\$ 148,104	\$ 84,029	\$ 230,675	Rentabilidad real acelerada

- **Tasa interna de retorno**

Para la tasa interna de retorno se obtuvo por métodos iterativos (Newton-Raphson)

La Tabla 30 muestra los distintos valores de tasa de prueba empleados para determinar la TIR.

Tabla 30. Calculo iterativo TIR

Tasa r (prueba)	VAN calculado	¿VAN = 0?
12%	\$ 230,675	Mayor a 0
40%	\$ 57,340	Mayor a 0
60%	\$ 8,210	Mayor a 0
65%	\$ 0	VAN = 0 TIR encontrada
80%	-\$ 18,500	Menor a 0

- **Punto de equilibrio**

Para determinar el punto de equilibrio se usó la Ecuación 23. Que consiste en dividir el OPEX mensual para el ARPU sugerido.

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{OPEX_{\text{mensual}}}{ARPU} \quad (23)$$

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{1,746}{22}$$

$$\text{Punto de equilibrio} = 79.36 \text{ Usuarios}$$

3.1.4 Integración de resultados

La integración de los resultados de las tres dimensiones de factibilidad evaluadas permite formular una evaluación global del proyecto. Desde la perspectiva técnica, el diseño XGS-PON con splitteo 1:128 demuestra viabilidad óptica con margen positivo en el escenario crítico, capacidad de ancho de banda coherente con los estándares internacionales de conectividad de calidad, y una arquitectura de distribución inalámbrica Wi-Fi 6 alineada con el perfil de demanda del campus universitario. Desde la perspectiva económica, el punto de equilibrio operativo de 80 clientes, alcanzado el primer mes de operación bajo el escenario conservador de adopción del 30%, y la estructura de costos dominada por componentes de larga vida útil (infraestructura pasiva) configuran un modelo financiero de riesgo moderado y recuperación de inversión previsible a mediano plazo.

Una observación crítica derivada del análisis comparativo de la distribución de APs existentes versus la distribución proyectada es que el problema de calidad de servicio en el campus no es fundamentalmente un problema de insuficiencia de capacidad

global, sino de la distribución subóptima de recursos en relación con la demanda real. Esto tiene una implicación práctica importante: no hace falta reemplazar toda la infraestructura inalámbrica existente, sino simplemente redistribuir los 206 APs actuales hacia una configuración optimizada de 154 APs. Esto significa sacar APs de los nodos que tienen más de lo que necesitan y moverlos a los nodos donde realmente hace falta. Con eso reduce considerablemente el CAPEX necesario para mejorar la red inalámbrica del campus.

Por otro lado, en cuanto a la extensión del servicio hacia la comunidad, los números hablan solos: hay 5,094 hogares con potencial de conexión en la parroquia Celiano Monge, pero la capacidad inicial del proyecto es de 768 puertos. Eso muestra que el proyecto arranca de forma conservadora, priorizando que sea financieramente sostenible antes que alcanzar la máxima cobertura posible del golpe. Este enfoque tiene sentido para un PAI universitario que busca cumplir con su rol de vinculación con la comunidad sin comprometer su viabilidad operativa a largo plazo, alineándose con los objetivos del perfil de titulación y el Plan Operativo Anual de la Universidad Técnica de Ambato.

3.2 Verificación de Hipótesis

3.2.1 Identificación de la Hipótesis del Proyecto

El perfil de titulación aprobado no enuncia explícitamente una hipótesis formal en la estructura convencional “si... entonces...”. Sin embargo, el objetivo general del proyecto, “determinar la factibilidad integral para construir un Proveedor de Acceso a internet PAI universitario en el campus Huachi-UTA”, implica una hipótesis de investigación que puede formularse de la siguiente manera: “Es factible desde el punto de vista técnico, económico, operativo y regulatorio construir un Proveedor de Acceso a Internet PAI universitario en el campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato que satisfaga las necesidades de conectividad de la comunidad universitaria y extienda el servicio hacia la parroquia Celiano Monge con parámetros de calidad de servicio que cumplan los estándares nacionales e internacionales aplicables”.

Esta investigación agrupa los cuatro puntos de viabilidad que el perfil de titulación define como características de la factibilidad integral: técnica (alcance de la arquitectura, presupuesto óptico, calidad del servicio), económica (CAPEX, OPEX, VAN/TIR, punto de equilibrio), operativa (modelo de gestión, nomenclatura, mantenimiento) y regulatoria (habilitación ARCOTEL, permisos municipales, cumplimiento de parámetros de calidad). La hipótesis es verificable mediante la contrastación de los parámetros de diseño con umbrales normativos y de referencia aplicables, y mediante la evaluación de los indicadores financieros del modelo de flujo de caja.

3.2.2 Evaluación de la Hipótesis con Base en los Resultados

a. Dimensión Técnica

La hipótesis de factibilidad técnica se evalúa favorablemente sobre la base de los siguientes resultados: el presupuesto óptico del enlace crítico presenta un margen positivo de + 1.85 dB, que supera el requisito mínimo normativo de + 1.0 dB de la ITU-T G.9807.1 en un 85%; el splitteo total de 1:128 se mantiene dentro del límite máximo del estándar XGS-PON clase N2; el ancho de banda teórico por ONT de 78,125 Mbps supera el umbral de 30 Mbps de la Comisión de Banda Ancha UIT/UNESCO; y todos los nueve parámetros de la tabla de validación técnica (tabla 9) resultan válidos. Estos resultados son generados por el método de diseño por caso límite, que garantiza que, si el escenario más adverso cumple los requisitos, todos los demás escenarios de la red lo harán con mayor holgura. [18]

b. Dimensión Económica

La hipótesis de factibilidad económica se evalúa favorablemente sobre la base de los siguientes resultados: el punto de equilibrio operativo de 80 clientes es alcanzado en el primer año de operación con el 30% de adopción proyectada (231 clientes); los ingresos operativos del primer año (\$61,050 USD) superan en 191% el OPEX anual proyectado (\$21,580 USD), generando un flujo de caja operativo positivo desde el primer año; y la escala de inversión inicial (\$132,500.49 USD CAPEX) es accesible para una institución universitaria del tamaño de la UTA.

c. Dimensión Operativa

La hipótesis de factibilidad operativa se evalúa favorablemente. El sistema de nomenclatura ACM-XXY-ZZZZ provee trazabilidad univoca de todos los elementos de la red, condición necesaria para la gestión eficiente de fallos y el mantenimiento preventivo. La arquitectura pasiva de la red, donde todos los componentes intermedios entre la OLT y las ONTs son splitters sin alimentación eléctrica, reduce significativamente los puntos de fallo potencial y los costos de mantenimiento correctivo. El OPEX anual proyectado de \$20,948 USD (1.5 % del CAPEX por concepto de mantenimiento preventivo y correctivo) es coherente con los estándares de gestión de redes FTTH de bajo mantenimiento documentados en la literatura técnica especializada. [34] [38]

d. Dimensionamiento Regulatorio

La hipótesis de factibilidad regulatoria se evalúa favorablemente. La Ley Orgánica de Telecomunicaciones establece un marco habilitante para la operación de un PAI universitario bajo la categoría VSET. Los costes de cumplimiento regulatorio (\$1,800 USD registro ARCOTEL + \$2,800 USD permisos municipales) han sido añadidos en el CAPEX del proyecto, lo que confirma que la viabilidad regulatoria fue considerada como una regla de diseño. El diseño técnico de la red, selección de cable ADSS compatible con tendido en postes eléctricos, parámetros de calidad superiores a los mínimos del ARCOTEL, son coherente con los requisitos normativos en las decisiones de ingeniería. [76] [39]

3.2.3 Decisión sobre la hipótesis

Sobre la base de la evidencia presentada en los apartados 3.2.2 (a) a 3.2.2 (d), la hipótesis de investigación SE ACEPTA. Los resultados del proyecto demuestran que es factible desde el punto de vista técnico, económico, operativo y regulatorio construir un Proveedor de Acceso a Internet universitario en el Campus Huachi-UTA con extensión de servicio FTTH/XGS-PON hacia la parroquia Celiano Monge. La aceptación se basa en: (1) cumplimiento de todos los parámetros técnicos normativos evaluados, incluyendo el presupuesto óptico con margen positivo en el escenario

crítico; (2) generación de flujo de caja operativo positivo desde el primer año de operación bajo el perfil de adopción conservador; (3) existencia de un marco regulatorio ecuatoriano que habilita la operación del PAI bajo la categoría VSET; (4) coherencia del diseño con los objetivos académicos y de vinculación social de la Universidad Técnica de Ambato. [18] [35] [76]

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El levantamiento técnico del Campus Huachi identificó una población potencial de 11,254 usuarios para el año 2026, proyectada en 12,790 para el horizonte 2030, con una carga estimada de 62,122 dispositivos conectados en 2026 y 98,610 en el 2030. El análisis comparativo entre la infraestructura inalámbrica existente y la demanda proyectada reveló una distribución profundamente inequitativa de los 206 Access Points, resultando en una relación crítica de 192 usuarios por AP, mientras que la Facultad de Ingeniería en Alimentos y Biotecnología (FIAB), con 757 usuarios, concentra 38 APs. Esta asimetría confirma cuantitativamente las deficiencias de calidad de servicio reportadas en el diagnóstico institucional llevado a cabo en cada facultad mediante una encuesta semiestructurada y evidencia que el problema de conectividad no responde a insuficiencia global de capacidad, sino a una distribución subóptima de recursos respecto a la demanda real.

El modelo de dimensionamiento aplicado determinó la necesidad de 154 APs para 2026 y 230 para 2030, alcanzables mediante la redistribución de los equipos existentes sin adquisición de nueva infraestructura. La carga de tráfico proyectada de 57.75 Gbps en 2026 y 86.25 Gbps en 2030 supera ampliamente la capacidad de la tecnología GPON predecesora (2.5 Gbps por puerto), validando técnicamente la adopción de XGS-PON con 10 Gbps simétricos por puerto de OLT como tecnología de acceso del PAI universitario.

- Se diseñó una arquitectura de red FTTH/XGS-PON bajo el estándar ITU-T G.9807.1 con topología punto a multipunto (P2MP) y splitteo en cascada de 1:128 (1:8 nivel de distribución * 1:16 nivel de dispersión), cubriendo 527 hectáreas de la parroquia Celiano Monge de Ambato. La red se estructura en cuatro ramas troncales (noreste 2.4 km, noroeste 2.0 km, sureste 1.7 km y suroeste 3.0 km), 12 mangas de distribución con splitters PLC 1:8 y 96 cajas NAP de 16 puertos con splitters 1:16, proveyendo una capacidad instalada de

1,536 puertos en un único chasis de OLT de 16 puertos activos. La demanda potencial de la parroquia, estimada en 5,094 hogares para 2026 frente a los 768 puertos activos de la fase inicial, confirma la existencia de un mercado de expansión sustancial para fases posteriores del proyecto, siendo el 37.8% de hogares sin acceso a internet fijo el segmento prioritario de inclusión digital y de vinculación social de la Universidad Técnica de Ambato.

El sistema de nomenclatura jerárquica ACM-XXY-ZZZZ diseñado específicamente para la red permite la identificación unívoca de cada elemento en los tres niveles de la planta externa, habilitando tanto el mantenimiento preventivo mediante rutas de inspección trazables como el mantenimiento correctivo mediante la localización inmediata del elemento en falla ante una alarma LOS en la OLT. La arquitectura pasiva de la ODN, compuesta íntegramente por splitters PLC sin alimentación eléctrica en la planta externa, elimina los puntos de fallo intermedios y reduce el OPEX de mantenimiento a lo largo de los más de 25 años de vida útil estimada para la fibra G.652.D

- La validación técnica del diseño mediante el análisis del presupuesto óptico en el escenario más crítico (cliente a 3.58 km de la OLT) arroja una potencia de recepción de -26.15 dBm con un margen residual positivo de +1.85 dB sobre el umbral de sensibilidad de la clase N2 (-28 dBm), superando en un 85% el requisito normativo mínimo de +1 dB de la ITU-T G.9807.1. El ancho de banda garantizado teórico por ONT de 78.125 Mbps supera el umbral de 30Mbps definido por la Comisión de Banda Ancha UIT/UNESCO para hogares en economías en desarrollo. El cumplimiento integral de los nueve parámetros de la tabla de validación técnica, obtenido mediante el método de diseño por caso límite, garantiza que la totalidad de los puntos de servicio de la red cumplen los requisitos normativos aplicables con holgura mayor que el escenario evaluado.

Desde la dimensión económica, el proyecto presenta un Valor Actual Neto de \$ 230,675 USD a cinco años con WACC del 12% y ARPU de \$ 22 USD/mes, confirmando la creación de valor económico neto. La Tasa Interna de Retorno del 65% supera en 53 puntos porcentuales el coste del capital, y el punto de

equilibrio operativo de 80 clientes se alcanza dentro del primer año de operación con 231 clientes bajo adopción conservadora del 30%. Desde la dimensión regulatoria, el marco habilitante de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones del Ecuador bajo categoría VSET, con costos de licencia de \$ 1,500 USD incorporados explícitamente en el CAPEX, confirma la viabilidad legal y administrativa del PAI universitario en el ecosistema regulatorio ecuatoriano. La hipótesis de factibilidad integral fue aceptada en sus cuatro dimensiones: técnica, económica operativa y regulatoria.

4.2 Recomendaciones

- Redistribución inmediata de la infraestructura inalámbrica existente. Se recomienda priorizar, como acción de corto plazo independientemente del despliegue de la red FTTH, la redistribución de los 206 Access Points existentes hacia la configuración óptima de 154 APs para 2026: reubicar los APs sobrantes de FIAB (de 38 a 10 APs) y FCA (de 34 a 17 APs) hacia los nodos deficitarios FCHE (de 12 a 32 APs) y FISEI (de 22 a 27 APs). Esta medida no requiere inversión adicional en equipamiento, resuelve de forma inmediata la saturación estructural en los nodos de mayor densidad y mejora la calidad del servicio percibida por la comunidad universitaria sin necesidad de esperar el despliegue completo de la infraestructura del PAI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INEGI, «Encuesta nacional sobre disponibilidad y uso de la información en los hogares,» Ecuador, 2025.
- [2] MINTEL, «Agenda de transformación Digital del Ecuador 2022-2025,» Ecuador, 2025.
- [3] L. Zumba, «Ecuador lidera crecimiento en Internet, pero con baja velocidad de descarga de datos,» Diario Expreso, Ecuador, 2025.
- [4] INEC, «Tecnologías de la Información y Comunicación-TIC Resumen 2024,» Ecuador, 2024.
- [5] ARCOTEL, «Boletín Estadístico,» Ecuador, 2023.
- [6] Cámara de Comercio de Quito, «La conectividad impulsa la transformación digital y reduce brechas en Ecuador,» Quito, 2025.
- [7] L. Amoroso, «Diseño de la red interna de la Universidad Técnica de Ambato implementando redes virtuales VLAN,» Ambato, 2006.
- [8] F. J. Galora Silva, «Modelo funcional para la administración de una red de datos institucional,» *ODIGOS*, vol. 1, nº 2, pp. 69-89, 2020.
- [9] A. Kusyadi, R. Abdurahman, D. Gunawan y R. Kusumawardani, «Low-cost Highly-interoperable Multiplatform Campus Network: Experience of YARSI University,» *arXiv preprint*, vol. 2509.13954, 2025.
- [10] T. Shahab y A. Salam, «Enhancing Wireless Campus Network Performance and Security Using Load Balancing,» *ResearchGate*, 2025.
- [11] D. A. Barahona Betancourt, «Diseño de la red inalámbrica de área local para el campus sur de la Universidad Politécnica Salesiana en los bloques C y D,

utilizando el estándar 802.11ax,» Universidad Politecnica Salesiana, Quito, 2023.

- [12] S. Benitez y C. Guevara, «Informe de necesidad para la contratacion de acceso a la red avanzada de investigacion y academia “RED CLARA”, servicio de internet y seguridad para la Universidad de las Artes,» Universidad de las Artes, Ecuador, 2022.
- [13] M. Akbar, A. Kridalaksana y S. Eko, «Designing an Adaptive Bandwidth Management for Higher Education Institutions,» *arXiv preprint*, vol. 2012.12362.
- [14] J. F. Kurose y K. W. Ross, Computer Networking: A Top-Down Approach, Pearson, 2020.
- [15] Cisco Systems, «Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper,» Cisco Systems, San Jose, CA, USA, 2020.
- [16] N. Klensin, «Terminology for Describing Internet Connectivity,» RFC 4084, IETF, mayo 2005.
- [17] K. C. Laudon y J. P. Laudon, Management Information Systems: Managing the Digital Firm, Hoboken, NJ, USA:: Pearson Education, 2020.
- [18] ITU-T, «10-Gigabit-capable symmetric passive optical network (XGS-PON),» Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra, Suiza, 2023.
- [19] ITU-T, «Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification,» Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra, Suiza, 2019.
- [20] H. R. N. B. Ikhwan, T. A. Gunawan y Y. Z. Nasution, Fiber to The Home (FTTH) Network Design Using Gigabit Passive Optical Network (GPON) Technology Using Link Power Budget and Rise Time Budget Analysis, International Journal of Quantitative Research and Modeling, 2023.

- [21] ITU-T, «Characteristics of a single-mode optical fibre and cable,» Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra, Suiza: , 2024.
- [22] IEEE, «IEEE Standard for Information Technology — Telecommunications and Information Exchange Between Systems — Local and Metropolitan Area Networks — Specific Requirements — Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY),» IEEE, Nueva York, 2021.
- [23] E. Mozaffariahrar, F. Tenhourdt y M. Menth, «A Survey of Wi-Fi 6: Technologies, Advances, and Challenges,» *Future Internet*, vol. 14, n° 10, oct. 2022.
- [24] A. Alsharif, «Evaluating OFDMA and TWT in Wi-Fi 6/7 for QoS Assurance in IoMT Networks,» *Electronics*, vol. 15, n° 7, mar. 2026.
- [25] ITU-T, «TMN management functions,» Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra, Suiza, 2000.
- [26] ARCOTEL, « Parámetros de la calidad del servicio de valor agregado de Internet,» Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, Quito, Ecuador, 2018.
- [27] A. Dixit, «Comprehensive Performance Analysis of Dynamic Bandwidth Allocation Schemes for XG-PON System,» *Optical Switching and Networking*, vol. 47, n° 100700, enero 2023.
- [28] M. S. Hossain, «Capacity Planning for Next-Generation Campus Networks: Integrating Wi-Fi 7 with XGS-PON Infrastructure,» *IEEE Access*, vol. 12, p. 14520–14535, 2024.
- [29] ITU-T, «Security architecture for systems providing end-to-end communications,» Union Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra, Suiza: , 2003.
- [30] J. Durand, I. Pepelnjak y G. Doering, «BGP Operations and Security,» IETF, febrero 2015.

- [31] P. Mohapatra, «BGP Prefix Origin Validation,» IETF, enero 2013.
- [32] ARCOTEL, «Ley Orgánica de Telecomunicaciones, Registro Oficial Suplemento N.º 439,» Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, Quito, Ecuador, 2022.
- [33] A. Khuwaja, « GPON power budget calculations,» APNIC Blog, Asia-Pacific Network Information Centre, 2024.
- [34] S. N. Romero-Reyes, V. Vásquez, P. Pinto y T. Braun, « Analysis and Evaluation of CAPEX and OPEX in Intra-Data Centre Network Architectures,» *ResearchGate*, 2019.
- [35] ITU, «Economic aspects of telecommunications/ICTs,» D-series Supplement 6, International Telecommunication Union, Ginebra, Suiza, 2022.
- [36] G. d. l. R. d. Ecuador, «Constitución de la República del Ecuador,» Registro Oficial N.º 449, Montecristi, Ecuador, 2008.
- [37] Gobierno de la República del Ecuador, «Ley Orgánica de Educación Superior (LOES),» Registro Oficial Suplemento N.º 298, Quito, Ecuador, 2010.
- [38] J. Kani, «"Optical Access Networks for the 6G Era,» *Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 14, n° 6, pp. 18-28, junio 2022.
- [39] ARCOTEL, «Reglamento para la prestación del servicio de valor agregado de Internet,» Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, Quito, Ecuador, 2022.
- [40] MINTEL, «Agenda de Transformación Digital del Ecuador 2022–2025,» Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, Quito, Ecuador, 2022.
- [41] ITU-T, «Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): General characteristics, Recomendación G.984.1,» Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra, Suiza, 2008.

- [42] IEEE, «IEEE Standard for Information Technology — Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Amendment 1: Enhancements for High-Efficiency WLAN», IEEE Std 802.11ax-2021, Nueva York, NY, USA, 2021.
- [43] ITU-T, «Ethernet service activation test methodology,” Recomendación Y.1564,» Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra, Suiza, 2016.
- [44] R. Mandeville, «Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices,» RFC 2544, IETF, 1999.
- [45] Universidad Técnica de Ambato, «Informe de Rendición de Cuentas 2024,» Dirección de Planeamiento y Evaluación (DIPLEV), Ambato, Ecuador, 2025.
- [46] INEC, «Resultados del Censo de Población y Vivienda 2022 – Datos poblacionales,» Instituto Nacional de Estadística y Censos, Quito, Ecuador,, 2023.
- [47] INEC, «Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) 2023,» Instituto Nacional de Estadística y Censos, Quito, Ecuador, 2023.
- [48] C. Systems, «Cisco Annual Internet Report (2018–2023),» White Paper Cisco Systems, San José, CA, USA, 2020.
- [49] L. Garcia, « Wireless LAN Capacity Planning,» Certified Wireless Network Professional (CWNP), 2024.
- [50] G. LLC, «Google Earth Pro,» Google LLC, Mountain View, CA, USA, 2024.
- [51] R. H. Sampieri, C. F. Collado y P. Baptista Lucio, Metodología de la Investigación, México D.F., México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, 2018.
- [52] F. G. Arias, El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica, Caracas, Venezuela: Episteme, 2016.

- [53] ITU-T, «Ethernet service activation test methodology, Recomendación Y.1564,» Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra, Suiza, 2016.
- [54] M. Tamayo y Tamayo, El Proceso de la Investigación Científica: Incluye Evaluación y Administración de Proyectos de Investigación, México D.F., México: Limusa, 2004.
- [55] C. Systems, «Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper,» Cisco, San Jose, CA, USA, 2020.
- [56] A. Stone, «How Higher Ed Taps Wi-Fi 6E to Expand Wireless Access,» EdTech Magazine, 2024.
- [57] L. Garcia, «Wireless LAN Capacity Planning,» Certified Wireless Network Professional (CWNP), 2024.
- [58] I. N. d. E. y. C. (INEC), «App Censo Ecuador — Cubos de información del Censo de Población y Vivienda 2022,» INEC, Quito, Ecuador, 2022.
- [59] W. P. Review, «Ambato Population 2026,» Disponible: <https://worldpopulationreview.com>, 2026.
- [60] Z. Corporation, «XGS-PON Technical White Paper,» ZTE Corporation, Shenzhen, China, 2024..
- [61] N. I. e. al, «Fiber to The Home (FTTH) Network Design Using Gigabit Passive Optical Network (GPON) Technology Using Link Power Budget and Rise Time Budget Analysis,» *International Journal of Quantitative Research and Modeling*, vol. vol. 4, nº no. 1, p. 30–36, 2023.
- [62] H. A. Networks, «Campus Network Design Guide,» Aruba Validated Design, Hewlett Packard Enterprise, 2024.
- [63] C. Systems, «High Density Wireless Infrastructure Mobility Design Guide,» Cisco Design Guides, San Jose, CA, USA, 2024.

- [64] U. T. d. A. (UTA), «Sistema de Información de Planificación y Seguimiento PEDI,» Dirección de Planeamiento y Evaluación (DIPLEV), Ambato, Ecuador, 2022.
- [65] J. Jetwiriyanon, T. Susnjak y S. Ranathunga, «Commencing-Student Enrolment Forecasting Under Data Sparsity with Time Series Foundation Models,» *arXiv preprint*, vol. 2602, n° 12120, 2026.
- [66] A. Khuwaja, «GPON power budget calculations,» Asia Pacific Network Information Centre, 2024.
- [67] ITU-T, «Series G Supplement: Optical fibre and cable recommendations overview,» International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland, 2022.
- [68] ITU/UNESCO, «Broadband Commission for Sustainable Development — Defining Meaningful Connectivity,» Broadband Commission Working Group Report, 2021.
- [69] J. G. I. e. al, «Dynamic Bandwidth Allocation for PON Slicing with Performance-Guaranteed Online Convex Optimization,»,» *arXiv preprint arXiv*, vol. 2205.04811, 2022.
- [70] IEEE, «IEEE Standard for Information Technology — Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications — Amendment 1: Enhancements for High-Efficiency WLAN,» IEEE Std 802.11ax-2021, 2021.
- [71] E. M. e. al, «A Survey of Wi-Fi 6: Technologies, Advances, and Challenges,» *Future Internet*, vol. 14, n° 10, 2022.
- [72] S. R.-R. e. al, «Analysis and Evaluation of CAPEX and OPEX in Intra-Data Centre Network Architectures,» *ResearchGate*, 2019.
- [73] P. Chancelou, «Optical Fiber Access Networks,» *Springer Handbook of Optical Networks*, p. 815–854, 2024.

- [74] J. Kani, «Optical Access Networks for the 6G Era,» *Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 14, n° 6, p. 18–28, 2022.
- [75] IEEE, «IEEE Guide for the Selection of Fiber Optic Cables for Underground and Conduit Installations,» IEEE Std 1695, 2011.
- [76] M. Rouse, «Internet service provider,» *Tech Target*, 2021.
- [77] K. Laudon y J. Laudon, *Management Information Systems*, New York: Pearson, 2020.

ANEXOS

Anexo A. Documentos

En la Imagen A1, A2, A3, A4 muestra la solicitud realizada para el levantamiento de información técnica en las 8 facultades del campus de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi.

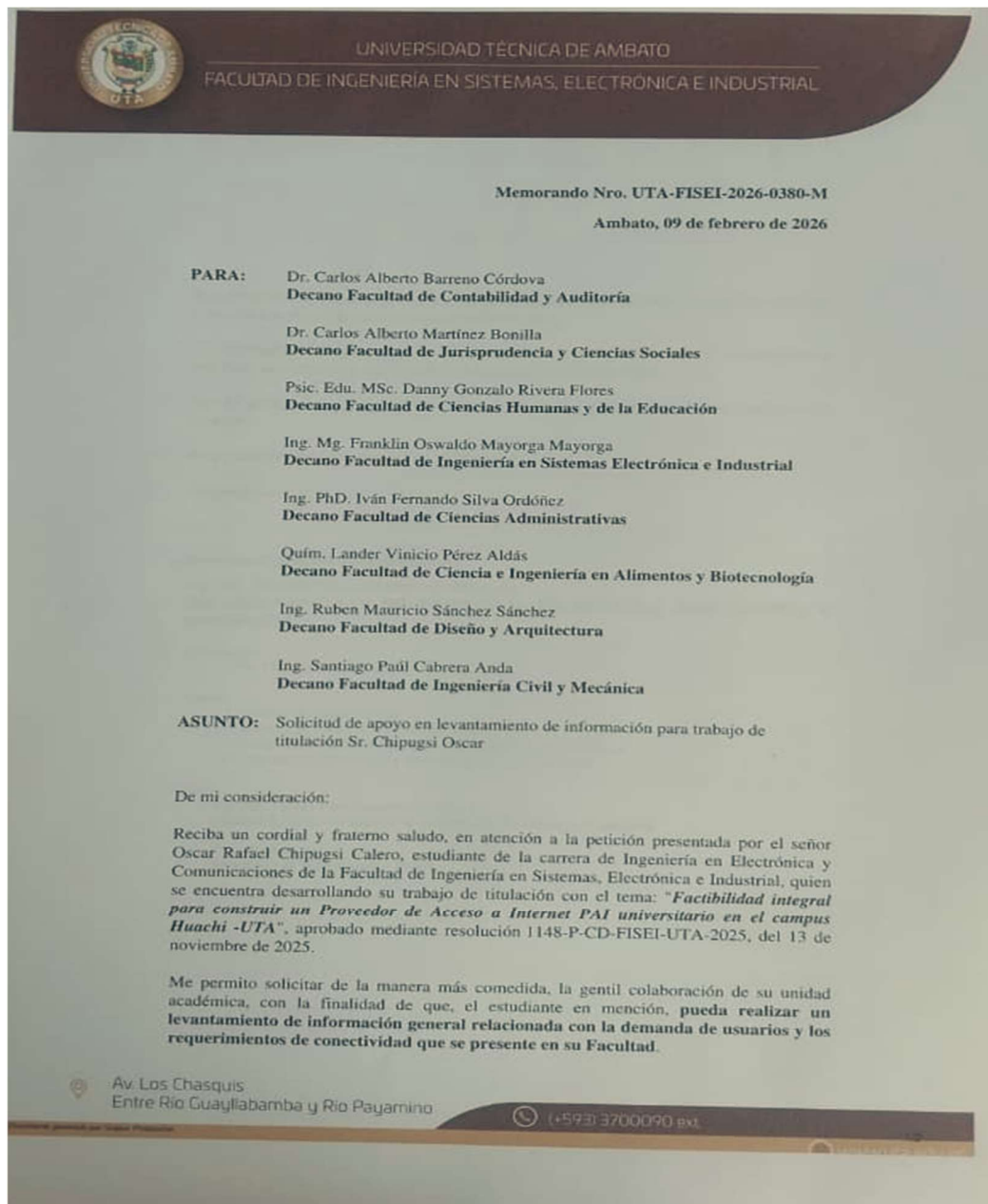


Imagen A1. Solicitud a distintos decanatos de la universidad Técnica de Ambato



Memorando Nro. UTA-FISEI-2026-0380-M

Ambato, 09 de febrero de 2026

Para el efecto, se anexa la plantilla estandarizada, mediante la cual, el estudiante realizará el levantamiento de la información en cada Facultad.

La información recopilada por el señor estudiante, será utilizada única y exclusivamente con fines académicos y será tratada con absoluta confidencialidad.

Por la gentil atención y ayuda que se sirva dar a nuestro estudiante, agradezco y suscribo.

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,

Documento firmado electrónicamente

Ing. Mg. Franklin Oswaldo Mayorga Mayorga
DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

Referencias:
- UTA-FISEI-2026-0753-E

Anexos:
- 1. Petición del estudiante.pdf
- 2. Resolución 1148-P-CD-FISEI-UTA-2025.pdf
- 3. Plantilla estandarizada para el levantamiento de información.pdf
- 4. Acta de confidencialidad y buen uso de la información.pdf

Copia:
Ing. Mg. Tatiana Paola Zambrano Valverde
Docente Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial

Dra. Martha Susana Freire
Secretaria de Información - FISEI

Oscar Rafael Chipogsi Calero
Estudiante

et



Imagen A2. Solicitud a distintos decanatos de la universidad Técnica de Ambato



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD Y NO DIVULGACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Yo, Chipugsi Calero Oscar Rafael, con cédula de ciudadanía N.º 0502943533, en mi calidad de estudiante de la carrera de Electrónica y Comunicaciones, quien para efectos del presente instrumento se denominará **EL RESPONSABLE**, suscribo de manera libre y voluntaria el presente **Acuerdo de Confidencialidad y No Divulgación de la Información**, al tenor de las siguientes cláusulas:

CLÁUSULA PRIMERA. – ANTECEDENTES

En el marco del desarrollo del proyecto de titulación denominado "**Factibilidad integral para construir un Proveedor de Acceso a Internet (PAI) universitario en el campus Huachi-UTA**", resulta necesario realizar un levantamiento de información general en las distintas facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Dicha información comprende datos de carácter institucional relacionados con población usuaria, infraestructura tecnológica y requerimientos de conectividad, los cuales deben ser tratados con responsabilidad, reserva y confidencialidad.

CLÁUSULA SEGUNDA. – OBJETO

El objeto de la presente acta es establecer el compromiso de confidencialidad, buen uso y manejo responsable de la información que sea proporcionada por las facultades, autoridades o dependencias de la Universidad Técnica de Ambato, en el marco del levantamiento de información requerido para el proyecto de titulación antes referido.

CLÁUSULA TERCERA. – ALCANCE DE LA INFORMACIÓN

La información sujeta a confidencialidad incluye, de manera enunciativa mas no limitativa:

- Número de estudiantes, docentes y personal administrativo.
- Información general sobre infraestructura tecnológica y conectividad.
- Datos agregados sobre laboratorios, equipos y recursos informáticos.
- Observaciones institucionales relacionadas con el uso del servicio de internet.

Dicha información será considerada **confidencial**, aun cuando no se encuentre expresamente identificada como tal.

CLÁUSULA CUARTA. – COMPROMISOS DEL RESPONSABLE

El suscribiente se compromete expresamente a:

Imagen A3. Solicitud a distintos decanatos de la universidad Técnica de Ambato



1. Utilizar la información recopilada únicamente con fines académicos, en el desarrollo del proyecto de titulación mencionado.
2. No divulgar, reproducir, transferir, publicar ni compartir la información, total o parcialmente, a terceros ajenos al proceso académico.
3. Presentar los resultados del análisis de manera agregada, referencial y no individualizada, evitando afectar la seguridad institucional o la privacidad de las unidades académicas.
4. Custodiar adecuadamente la información durante todo el proceso investigativo.
5. Eliminar, archivar o resguardar la información una vez concluido el proyecto, conforme a las disposiciones institucionales y académicas vigentes.

CLÁUSULA QUINTA. – CARÁCTER ACADÉMICO

La presente acta tiene carácter estrictamente académico y respalda el compromiso ético y responsable del estudiante respecto al manejo de la información proporcionada por las autoridades y dependencias de la Universidad Técnica de Ambato.

CLÁUSULA SEXTA. – ACEPTACIÓN

El suscribiente declara haber leído integralmente el presente documento, comprender su contenido y alcance, y acepta cumplir integralmente y responsablemente las obligaciones aquí establecidas. Para constancia de lo expuesto, firmo la presente acta en la ciudad y fecha indicadas.

Atentamente,

Chipugsi Calero Oscar Rafael
Cedula N.º 0502943533
Estudiante
Carrera de Electrónica y Comunicaciones – FISEI
Universidad Técnica de Ambato

Imagen A4. Solicitud a distintos decanatos de la universidad Técnica de Ambato

En las Imágenes A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12 se muestra la encuesta realizada en el levantamiento de información técnica en las 8 facultades de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
**PROYECTO DE TITULACIÓN – FACTIBILIDAD INTEGRAL PARA CONSTRUIR UN
PROVEEDOR DE ACCESO A INTERNET (PAI) UNIVERSITARIO EN EL CAMPUS
HUACHI-UTA.**

1. Información general de la facultad

- Facultad: Ingeniería Civil y Mecánica
- Persona que proporciona la información: Ing. Santiago Cabrera
- Cargo: Decano
- Fecha: 18 de febrero de 2026

2. Población usuaria

- Número aproximado de estudiantes: 1303
- Número de docentes: 60
- Personal administrativo: 13
- Personal técnico / laboratorios: 12

3. Infraestructura tecnológica

- Laboratorios de cómputo:
☒ Sí ☐ No
En caso afirmativo, número de laboratorios: 2
- Número aproximado de computadores: 30
- Servidores locales:
☒ Sí ☐ No
- Otros equipos conectados a la red (cámaras, IoT, equipos especializados):

4. Horarios de mayor demanda del servicio de internet:

- ☒ Mañana ☒ Tarde ☐ Noche

5. Observaciones adicionales

Se requiere más puntos de ethernet en oficinas
30 APs en la facultad.

Firma de responsabilidad:

Imagen A5. Encuesta realizada a distintos decanatos de la universidad Técnica de Ambato

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**PROYECTO DE TITULACIÓN – FACTIBILIDAD INTEGRAL PARA CONSTRUIR UN
PROVEEDOR DE ACCESO A INTERNET (PAI) UNIVERSITARIO EN EL CAMPUS
HUACHI-UTA.**

1. Información general de la facultad

- Facultad: Diseño y Arquitectura
- Persona que proporciona la información: Alex Silva
- Cargo: Secretaría Decanato
- Fecha: 10 febrero 2026

2. Población usuaria

- Número aproximado de estudiantes: 1000 = 382 ; D = 282 ; DT = 233 ; DG =
- Número de docentes: 58
- Personal administrativo: 10
- Personal técnico / laboratorios: 4

3. Infraestructura tecnológica

- Laboratorios de cómputo:
 - ☐ Si ☐ No
 - En caso afirmativo, número de laboratorios: —
- Número aproximado de computadores: —
- Servidores locales:
 - ☐ Si ☐ No
- Otros equipos conectados a la red (cámaras, IoT, equipos especializados):
—

4. Horarios de mayor demanda del servicio de internet:

- ☐ Mañana ☐ Tarde ☐ Noche

5. Observaciones adicionales

El personal de laboratorio no se encuentra
trabajando por culminación de contrato. No disponen
información de infraestructura tecnológica.
Existen 24 AS en la facultad.

Firma de responsabilidad:

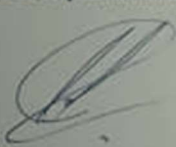


Imagen A6. Encuesta realizada a distintos decanatos de la universidad Técnica de Ambato

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**PROYECTO DE TITULACIÓN – FACTIBILIDAD INTEGRAL PARA CONSTRUIR UN
PROVEEDOR DE ACCESO A INTERNET (PAI) UNIVERSITARIO EN EL CAMPUS
HUACHI-UTA.**

1. Información general de la facultad

- Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología
- Persona que proporciona la información: Ana Monge
- Cargo: Asistente Administrativa Decanato
- Fecha: 10/02/2026

2. Población usuaria

- Número aproximado de estudiantes: 700
- Número de docentes: 38
- Personal administrativo: 13
- Personal técnico / laboratorios: 6

3. Infraestructura tecnológica

- Laboratorios de cómputo:
☒ Sí ☐ No
 En caso afirmativo, número de laboratorios: 1
- Número aproximado de computadores: 20
- Servidores locales:
☒ Sí ☐ No
- Otros equipos conectados a la red (cámaras, IoT, equipos especializados):

4. Horarios de mayor demanda del servicio de internet:

- ☒ Mañana ☒ Tarde ☐ Noche

5. Observaciones adicionales

Existen 38 APs en la facultad

Firma de responsabilidad: Ana Monge

Imagen A7. Encuesta realizada a distintos decanatos de la universidad Técnica de Ambato

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**PROYECTO DE TITULACIÓN – FACTIBILIDAD INTEGRAL PARA CONSTRUIR UN
PROVEEDOR DE ACCESO A INTERNET (PAI) UNIVERSITARIO EN EL CAMPUS
HUACHI-UTA.**

1. Información general de la facultad

- Facultad: CIENCIAS HUMANAS Y DE LA EDUCACIÓN
- Persona que proporciona la información: RUTH NARANJO
- Cargo: SECRETARÍA DECAUATU
- Fecha: 10 FEB

2. Población usuaria

- Número aproximado de estudiantes: 2.169
- Número de docentes: 110
- Personal administrativo: 20
- Personal técnico / laboratorios: 8

3. Infraestructura tecnológica

- Laboratorios de cómputo:
 - ☒ Sí ☐ No 8 LAB
 - En caso afirmativo, número de laboratorios: 8
- Número aproximado de computadores: $\frac{20}{3} + \frac{16}{1} + \frac{20}{2} + \frac{12}{3} + \frac{19}{3} + \frac{16}{2} + \frac{19}{1} + \frac{24}{8}$
- Servidores locales:
 - ☒ Sí ☐ No
- Otros equipos conectados a la red (cámaras, IoT, equipos especializados):

4. Horarios de mayor demanda del servicio de internet:

- ☐ Mañana ☐ Tarde ☐ Noche +

5. Observaciones adicionales

El servicio de INTERNET EN EL PAISAJERO Y
PALO DE COMIDA
EXISTEN 12 AB EN LA FACULTAD

Firma de responsabilidad: 

Imagen A8. Encuesta realizada a distintos decanatos de la universidad Técnica de Ambato

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**PROYECTO DE TITULACIÓN – FACTIBILIDAD INTEGRAL PARA CONSTRUIR UN
PROVEEDOR DE ACCESO A INTERNET (PAI) UNIVERSITARIO EN EL CAMPUS
HUACHI-UTA.**

1. Información general de la facultad

- Facultad: de ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial
- Persona que proporciona la información: Laborantista, secretario
- Cargo: _____
- Fecha: 13 de febrero del 2026.

2. Población usuaria

- Número aproximado de estudiantes: 1899
- Número de docentes: 75 + 8
- Personal administrativo: 14
- Personal técnico / laboratorios: 6

3. Infraestructura tecnológica

- Laboratorios de cómputo:
☐ Si ☐ No
 En caso afirmativo, número de laboratorios: 10 + 3
- Número aproximado de computadores: $21 + 21 + 21 + 20 + 13 + 13 + 12 + 17 + 21 + 26$
 $(16 + 17) + 16 + (20 + 1)$
- Servidores locales
☒ Si ☐ No
- Otros equipos conectados a la red (cámaras, IoT, equipos especializados):
Ente conectado por 10Gb - 22 Aps.

4. Horarios de mayor demanda del servicio de internet

- ☐ Mañana ☐ Tarde ☐ Noche

5. Observaciones adicionales

Firma de responsabilidad:

Imagen A9. Encuesta realizada a distintos decanatos de la universidad Técnica de Ambato

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**PROYECTO DE TITULACIÓN – FACTIBILIDAD INTEGRAL PARA CONSTRUIR UN
PROVEEDOR DE ACCESO A INTERNET (PAI) UNIVERSITARIO EN EL CAMPUS
HUACHI-UTA.**

1. Información general de la facultad

- Facultad: Jurisprudencia y Ciencias Sociales
- Persona que proporciona la información: _____
- Cargo: Secretariado Derecho, Comunicaciones Social, Trabajo Social.
- Fecha: 10 febrero 2026

2. Población usuaria

- Número aproximado de estudiantes: 39 + 354 = 393 DE DERECHO
- Número de docentes: 60 309 + 342 = 651 COMUNICACION SOCIAL
233 + 36 = 269 TRABAJO SOCIAL
- Personal administrativo: 18
- Personal técnico / laboratorios: —

3. Infraestructura tecnológica

- Laboratorios de cómputo:
☒ Sí ☐ No
En caso afirmativo, número de laboratorios: 2
- Número aproximado de computadores: 22 + 18
- Servidores locales:
☐ Sí ☐ No
- Otros equipos conectados a la red (cámaras, IoT, equipos especializados):

4. Horarios de mayor demanda del servicio de internet:

- ☒ Mañana ☐ Tarde ☐ Noche

5. Observaciones adicionales

Existen 14 Aps en la facultad

Firma de responsabilidad:

Imagen A10. Encuesta realizada a distintos decanatos de la universidad Técnica de Ambato

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**PROYECTO DE TITULACIÓN – FACTIBILIDAD INTEGRAL PARA CONSTRUIR UN
PROVEEDOR DE ACCESO A INTERNET (PAI) UNIVERSITARIO EN EL CAMPUS
HUACHI-UTA.**

1. Información general de la facultad

- Facultad: Facultad de contabilidad y Auditoria.
- Persona que proporciona la información: _____
- Cargo: Secretariado decanato y Secretaria de carreras
- Fecha: 10 febrero 2026

2. Población usuaria

- Número aproximado de estudiantes: 721 Contabilidad y A. 35135 Virelacion. 542. Economia. 100-1000
- Número de docentes: 63. 100 Virelacion.
- Personal administrativo: 15 + 1 / 5 carayes.
- Personal técnico / laboratorios: —

3. Infraestructura tecnológica

- Laboratorios de cómputo:
 - ☒ Sí ☐ No
 - En caso afirmativo, número de laboratorios: 7
- Número aproximado de computadores: 7(21) + 4. 4
- Servidores locales:
 - ☐ Sí ☐ No
- Otros equipos conectados a la red (cámaras, IoT, equipos especializados):
 - DITIC UPS. 12WCTB 32 + 1 AR

4. Horarios de mayor demanda del servicio de internet

- ☐ Mañana ☐ Tarde ☐ Noche

5. Observaciones adicionales

Existen 32 ARs.

Firma de responsabilidad:

Imagen A11. Encuesta realizada a distintos decanatos de la universidad Técnica de Ambato

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**PROYECTO DE TITULACIÓN – FACTIBILIDAD INTEGRAL PARA CONSTRUIR UN
PROVEEDOR DE ACCESO A INTERNET (PAI) UNIVERSITARIO EN EL CAMPUS
HUACHI-UTA.**

1. Información general de la facultad

- Facultad: de Ciencias Administrativas
- Persona que proporciona la información: Ing. Mayra Segura T.
- Cargo: Asistente Administrativa
- Fecha: 10-Febrero-2026

2. Población usuaria

- Número aproximado de estudiantes: 1.160
- Número de docentes: 62
- Personal administrativo: 11
- Personal técnico / laboratorios: 52

3. Infraestructura tecnológica

- Laboratorios de cómputo:
☒ Sí ☐ No
En caso afirmativo, número de laboratorios: 6
- Número aproximado de computadores: 80
- Servidores locales:
☒ Sí ☐ No
- Otros equipos conectados a la red (cámaras, IoT, equipos especializados):
Pizarras Interactivas - Visores de realidad virtual.

4. Horarios de mayor demanda del servicio de internet.

- ☒ Mañana ☐ Tarde ☒ Noche

5. Observaciones adicionales

Conta con 24 AP

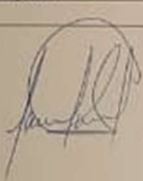
Firma de responsabilidad: 

Imagen A12. Encuesta realizada a distintos decanatos de la universidad Técnica de Ambato