

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA
MENCION TELECOMUNICACIONES**



PROYECTO DE GRADO:

**“ESTUDIO DE UNA RED INALÁMBRICA PARA
EL MUNICIPIO DE COLQUENCHA”**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

POSTULANTE: EDDY MAGNO CANAVIRI HUALLPA

TUTOR: ING. HUGO BALDERRAMA

LA PAZ – BOLIVIA
2019



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA

Este presente trabajo se lo dedico a mis padres: Florencio y Norah por su ayuda, cariño, esfuerzo y confianza, hacia mi persona que me ayudaron a culminar esta instancia de mis estudios.

También va dedicado a mis hermanos y mi novia que me animaron a seguir adelante, por su constante apoyo en los momentos de incertidumbre.

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la U.M.S.A. que me guiaron e hicieron posible termine con éxito esta etapa de mis estudios.

A mis familiares y a todas aquellas personas que hicieron posible que concluya este logro personal.

INDICE

CAPITULO I	1
ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	2
1.4 OBJETIVOS	3
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICO	4
1.5 JUSTIFICACIÓN	4
1.5.1 JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA	4
1.5.2 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA –SOCIAL	5
1.5.3 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA LEGAL	6
1.6 ALCANCES Y LIMITES DEL PROYECTO	7
1.6.1 ALCANCES	7
1.6.2 LIMITES	7
1.7 UBICACIÓN GEOGRAFICA DE COLQUENCHA	8
1.7.1 LATITUD Y LONGITUD	8
1.7.2 EXTENSION	9
1.7.3 LÍMITES TERRITORIALES	10
1.8 ASPECTOS FISICOS NATURALES	12
1.8.1 DESCRIPCIÓN FISOGRÁFICA	12
1.8.2 ALTITUDES	12
1.8.3 RELIEVE	13
1.9 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS Y CLIMATOLÓGICAS	13
1.10 POBLACIÓN	14
1.11 RECURSOS NATURALES	14
1.11.1 FLORA	14
1.11.2 PRINCIPALES ESPECIES	15

1.11.3 RECURSOS FORESTALES	15
1.11.4 RECURSOS HÍDRICOS	15
1.11.5 RECURSOS MINERALES	16
1.11.6 COMPORTAMIENTO AMBIENTAL	17
1.11.7 SUELO	17
1.11.8 AIRE	18
CAPITULO II	19
REDES INALAMBRICAS	19
2.1 INTRODUCCION	19
2.2 TECNOLOGIA INALAMBRICA	19
2.3 TIPOS DE REDES INALAMBRICAS	22
2.4 TOPOLOGÍAS DE REDES INALÁMBRICAS	23
2.4.1 PUNTO A PUNTO	24
2.4.2 PUNTO A MULTIPUNTO	24
2.4.3 MULTIPUNTO A MULTIPUNTO	25
2.5 MODOS DE FUNCIONAMIENTO EN WIFI	26
2.5.1 MODO MASTER.....	26
2.5.2 MODO MANAGED	27
2.5.3 MODO AD-HOC	27
2.5.4 MODO MONITOR.....	28
2.6 TECNOLOGIAS INALÁMBRICAS	28
2.6.1 BLUETOOTH.....	28
2.6.2 HOME RF	29
2.6.3 ZIGBEE	29
2.6.4 WIFI	30
2.6.5 WIMAX	30
2.6.6 WIBRO (WIRELESS BROADBAND TECHNOLOGY).....	31
2.7 INTRODUCCIÓN AL WIFI	31
2.7.1 HISTORIA.....	32

2.7.2 FUNCIONAMIENTO Y EVOLUCIÓN	33
2.7.3 ESTANDAR 802.11	34
2.8 ASPECTOS TÉCNICOS - IEEE 802.11.....	35
2.8.1 CAPA 1 (802.11 PHY)	36
2.8.2 CAPA 2 (802.11 MAC)	38
2.9 ENMIENDAS DE IEEE 802.11.....	40
2.9.1 IEEE 802.11b	40
2.9.2 IEEE 802.11a.....	40
2.9.3 IEEE 802.11g	41
2.9.4 IEEE 802.11n	41
2.9.5 IEEE 802.11s.....	41
2.10 ESTUDIO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11N	42
2.10.1 CAPA FÍSICA.....	43
2.11 PRINCIPALES TÉCNICAS DE MIMO	54
2.11.1 DIVERSIDAD DE ANTENAS.....	54
2.11.2 PRECODING Y BEAMBORMING	58
2.13 CÓMO FUNCIONA MIMO	61
2.14 EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO DE MIMO: WLAN QUE OPERA BAJO EL ESTÁNDAR 802.11N	63
2.15 APLICACIONES MIMO	64
2.15.1 BENEFICIOS.....	65
2.16 TIPOS DE MIMO	66
2.16.1 SU-MIMO (o Multi-antenna MIMO)	66
2.16.2 MU-MIMO (o Multi -User & Multi-Antenna MIMO)	67
2.17 FACTORES QUE INFLUYEN EN UN ENLACE INALAMBRICO	68
2.17.1 LÍNEA VISUAL	68
2.17.2 LA ZONA DE FRESNEL	69
2.17.3 ECUACION DE FRIIS.....	71
2.17.4 PERDIDAS POR ESPACIO LIBRE.....	71

CAPITULO III	73
ESTUDIO DE MERCADO	73
3.1 DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	73
3.2 VISIÓN MUNICIPAL	74
3.3 DEMOGRAFÍA DEL MUNICIPIO	75
3.4 CENTROS POBLADOS	75
3.5 EDUCACION	77
3.5.1 EDUCACION FORMAL	77
3.5.2 ESTRUCTURA INSTITUCIONAL: NÚMERO, TIPO Y COBERTURA DE LOS ESTABLECIMIENTOS	78
3.6 GESTIÓN MUNICIPAL	78
3.7 ANÁLISIS DE LAS CAUSAS DEL PROBLEMA	79
3.7.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	79
3.7.2 IDENTIFICACIÓN Y CAUSAS:	79
3.8 ANÁLISIS Y EFECTOS	79
3.8.1. ANÁLISIS DE FINES DEL PROYECTO	80
3.8.2 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN	81
3.9 BENEFICIOS EXCEPCIONALES DE LA CONEXIÓN INALÁMBRICA:	82
3.10 RED DE COMUNICACIONES	82
3.10.1 OTRAS OPERADORES	83
3.10.2 INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES	83
3.10.3 TELECENTROS	83
3.11 SITUACION ACTUAL DE OPERADORES DE INTERNET	84
3.11.1 ENTEL – DATOS INTERNET MÓVIL	84
3.11.2 TIGO	85
3.11.3 VIVA	86
3.12 INFRAESTRUCTURA ELECTRICA	86
3.13 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE MERCADO	87
CAPITULO IV	88

INGENIERÍA DEL PROYECTO	88
4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL DISEÑO.....	88
4.2 METODOLOGÍA DE CUBRIR LOS MUNICIPIOS CON EL SERVICIO DE INTERNET	89
4.3 ASIGNACIÓN DE SITIOS Y RADIO DE COBERTURA	90
4.3.1 DISEÑO DE LA RED.....	90
4.3.2 COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LAS ESTACIONES PROPUESTAS	90
4.4 SELECCIÓN DE FRECUENCIAS O BANDA DE FRECUENCIA.....	92
4.4.1 FRECUENCIA DE 2.4 GHz	92
4.4.2 FRECUENCIA DE 5 GHz	93
4.5 ESTRUCTURA DEL DISEÑO	93
4.6 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROYECTO.....	94
4.7 DIAGRAMA DE TOPOLOGÍA DE LA RED	95
4.8 ANALISIS DEL RADIO ENLACE	95
4.8.1 POTENCIA DE Tx Y Rx	96
4.8.2 SELECCIÓN DE FRECUENCIA O BANDA DE FRECUENCIA.....	97
4.8.3 CALCULO CON RADIO MOBILE	98
4.9 POTENCIA DE TRANSMISIÓN – RECEPCIÓN	102
4.9.1 PERDIDAS DE ESPACIO LIBRE.....	102
4.9.2 ESTUDIO Y CALCULO DE LA ZONA FRESNEL.....	103
CAPITULO V.....	105
ANALISIS DE COSTOS	105
5.1 COMPRA DE EQUIPOS DE TELECOMUNICACION	105
5.2 ESPACIO FISICO PARA EL ENLACE O INFRAESTRUCTURA.....	106
5.3 COSTO Y USO DE LA FRECUENCIA	106
5.4 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	107
5.5 RECURSOS HUMANOS Y OTROS GASTOS	107
5.6 COSTO Y PRECIOS AL PROVEEDOR DE SERVICIO DE INTERNET	108

5.6.1 ELECCIÓN DEL PROVEEDOR IPS.....	108
5.7 TABLA GENERAL DE PRECIOS Y COSTOS DEL PROYECTO	109
5.8 PAQUETES DEL SERVICIO HACIA LOS CLIENTES	109
5.9 VALOR FUTURO DE INVERSIÓN DEL PROYECTO	109
5.10 COSTO FINAL DE CADA AÑO POR EL LAPSO DE 8 AÑOS	111
5.11 COSTOS DE APRECIACIÓN Y DEPRECIACIÓN:	111
5.12 INGRESO POR AÑO	112
5.13 VAN O VALOR ACTUAL NETO.....	112
5.14 TIR O TASA INTERNA DE RETORNO	113
CAPITULO VI	115
CONCLUSION Y RECOMENDACIONES.....	115
6.1 CONCLUSIONES	115
6.2 RECOMENDACIONES	116
BIBLIOGRAFIA.....	117
GLOSARIO DE TERMINOS.....	118
ANEXOS.....	121

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Colquencha.....	8
Figura 2. Imágenes del Municipio de Colquencha	9
Figura 3. Mapa del Municipio de Colquencha.....	10
Figura 4. Interconexión de LAN mediante antenas direccionales	21
Figura 5. Interconexión Omnidireccional.....	22
Figura 6: Posicionamiento de Estándares Wireless	22
Figura 7: Enlace Inalámbrico punto a punto.....	24
Figura 8: Enlace Inalámbrico punto a multipunto	25
Figura 9: Enlace Inalámbrico multipunto a multipunto.....	25
Figura 10: Capa OSI Cubiertas por el estándar 802.11	35
Figura 11: Ventajas del Estándar 802.11n.....	42
Figura 12: Comparación entre las modulaciones: portadora única y OFDM .	44
Figura 13: Diagramas de los sistemas SISO, MISO y SIMO respectivamente	47
Figura 14: Diagrama Básico de un sistema MIMO.....	47
Figura 15: Sistema MISO: diversidad en transmisión y beamforming	52
Figura 16: Sistema SIMO: diversidad en recepción	52
Figura 17: Típico sistema smart antenna con diversidad en transmisión y recepción y beamforming	53
Figura 18: Sistema MIMO.....	53
Figura 19: Esquema de un receptor con diversidad por selección	55
Figura 20: Esquema de un receptor con diversidad por conmutación	55
Figura 21: Esquema de un receptor con diversidad por combinación	56
Figura 22: Diagrama de bloques de un transmisor con codificador espacio- tiempo.....	57
Figura 23: Multiplexación espacial	58
Figura 24: Las señales multicamino que lleguen ligeramente desfasadas crearán una señal más débil al combinarse con la señal primaria en el receptor	60

Figura 25: Las señales multicamino que lleguen con un desfase de 180° cancelarán completamente a la señal primaria.....	61
Figura 26: Esquema general de un sistema MIMO	62
Figura 27: Ejemplo de funcionamiento de MIMO en una WLAN que opera con el estándar 802.11n.....	64
Figura 28: Concepto básico de MU-MIMO.....	68
Figura 29: La zona de Fresnel es bloqueada parcialmente en este enlace	69
Figura 30: Diferentes zonas de Fresnel.....	70
Figura 31: Análisis de efectos y fines del Proyecto	80
Figura 32: Desarrollo Económico, social y educativo	81
Figura 33: Lista posible de lugares a Instalarse el Internet.....	82
Figura 34: Enlace Punto a Punto	88
Figura 35: Torre La Paz-El Alto de Ciudad Satélite	91
Figura 36: Torre Municipio de Colquencha.....	91
Figura 37: Canales de transmisión de las WLAN's.....	92
Figura 38: Topología y Esquema general del enlace y red inalámbric.....	95
Figura 39: Esquema básico del Enlace Inalámbrico punto a punto	96
Figura 40: Torre El Alto y sus respectivos datos del GPS (Torre-Auto soportada)	98
Figura 41: Torre Colquencha y su respectivos datos del GPS (Torre- Arriostrada)	99
Figura 42: Enlace y vista de los puntos elegidos en mapa	99
Figura 43: Datos y parámetros de enlace inalámbrico de Tx y Rx.....	100
Figura 44: Primera Zona de Fresnel	100
Figura 45: Segunda Zona de Fresnel.....	101
Figura 46: Tercera Zona de Fresnel.....	101

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Leyes de creación de los cantones de Colquencha	11
Tabla 2. Comunidades y Centros urbanos	11
Tabla 3. Características Altitudinales	12
Tabla 4. Población del municipio por género	14
Tabla 5. Recursos Mineralógicos del Municipio	16
Tabla 6: Principales estándares de la familia IEEE 802.11	30
Tabla 7: Resumen de PHYs IEEE 802.11	35
Tabla 8: Evolución de MIMO	48
Tabla 9. Tasa de Poblacion de Municipio de Colquencha	76
Tabla 10: Crecimiento del Municipio de Colquencha hasta 2018	77
Tabla 11. Tarifas servicio 4G ENTEL	84
Tabla 12 : Tarifas Empresa de Telecomunicaciones Tigo	85
Tabla 13: Tarifas empresa de Telecomunicaciones Viva.....	86
Tabla 14: Bolsa de Volumen pre-pago	86
Tabla 15: Datos geográficos de enlace Punto a Punto	91
Tabla 16: Datos geográficos de enlace Punto a Multipunto	92
Tabla 17: Características principales del Airfiber AF-5U	96
Tabla 18: Banda de Frecuencia libres según la ATT	97
Tabla 19: Valores y datos para el caculo dela Zona de Fresnel	103
Tabla 20 : Costo detallado de los Equipos.....	105
Tabla 21: Costo de Alquiler de las Torres	106
Tabla 22 : Costo del Uso de frecuencia.....	106
Tabla 23: Costos de operación y mantenimiento	107
Tabla 24: Personal de trabajo y los costos anuales.....	108
Tabla 25: Lista de proveedores de Internet.....	108
Tabla 26: Costo Anual del servicio del proveedor (IPS)	108
Tabla 27: Cuadro resume de costos del Proyecto	109
Tabla 28: Planes del servicio de Internet	109

Tabla 29: Ingresos del proyecto estimado para 8 Años	110
Tabla 30: Costo final de cada año.....	111
Tabla 31: Costo final tomando en cuenta la depreciación.....	111
Tabla 32 : Costo Total de dos primeros años	112
Tabla 33: Flujo Neto de Cajas.....	113

INDICE DE GRAFICOS

Grafico 1: Estimación porcentual de población de Colquencha.....	76
Grafico 2: Estimación porcentual de población de Colquencha.....	77
Grafico 3: Diagrama de Flujo del proyecto	94

RESUMEN DEL PROYECTO

Con la aparición y la creciente evolución de tecnologías de información, nuestro país se ve en la necesidad de acceder al mundo de las redes de comunicación, como la recepción y envío de datos, la comunicación virtual entre personas, telefonía y muchos más beneficios de las tecnologías del internet hoy en día.

Por tal razón el internet es imprescindible e importante para el desarrollo de nuestro país. Es por eso que sugerimos en este proyecto y nos planteamos hacer un estudio de servicio del Internet por medio de las redes inalámbricas en nuestro caso a través de la tecnología WiFi para el Municipio de Colquenchá.

En el capítulo I, realizaremos un detalle específico de los objetivos que nos planteamos realizar en este proyecto, también una prospección rápida del lugar, describimos una breve reseña del municipio y sus características geográficas, fauna y de población al del municipio de Colquenchá.

Luego en el capítulo II, realizaremos un resumen de los fundamentos teóricos de las redes inalámbricas, como también de las características y los estándares que son empleados para nuestro enlace inalámbrico, teniendo en cuenta las normas que rigen en nuestro país para dicha tecnología y su posterior elección de equipos a ser utilizados para nuestro proyecto, así lograr diseñar nuestra una red inalámbrica para el Municipio.

El capítulo III, efectuaremos un análisis y estudio de mercado, como datos estadísticos de la demografía del Municipio como alcance y penetración que se tendrá en los estudiantes de los sitios, así como un análisis de los problemas y sus posibles soluciones, también mencionar las operadoras de telecomunicación que brindan su servicio en dicho municipio y su alcance tecnológico hacia los pobladores del lugar.

En el Capítulo IV, nos avocaremos en la ingeniería de proyecto con los conocimientos adquiridos y la ingeniería de telecomunicaciones podremos primeramente realizar un estudio técnico, como también de la prospección del lugar ya sea geográficamente como también del impacto social en dicho Municipio.

Así como de un diseño general de red que son apropiados para los lugares elegidos y que tendrán, por medio de un diagrama flujo que no ayudará en la secuencia de pasos a seguir para concluir satisfactoriamente nuestro proyecto, nos sin antes mencionar que lo haremos con herramientas como el Google Earth y Radio Mobile en la simulación de nuestros diseños.

En el capítulo V, analizaremos la parte económica y de costos, que implica los equipos, la instalación o mano de obra, como de los flujos de cobros mensuales por el servicio, y estos datos deberán ser apropiados para posteriormente implementarla y sea un servicio auto sostenible a lo largo tiempo, proyectar de esta manera una solución que sea viable para su futura ejecución del proyecto, descripción de los equipos y la velocidad del proveedor de nuestro servicio de internet, que sean lo suficiente para cubrir las necesidades del municipio, de manera rápida y a un costo accesible para que la población que habita pueda acceder a este servicio para su posterior implementación para mejorarla y ampliarla para un futuro.

Finalmente en el capítulo VI, concluiremos si nuestras metas se lograron a partir de nuestros objetivos planteados para el enlace inalámbrico hacia el Municipio de Colquenchá y realizaremos algunas recomendaciones que implicara nuestro proyecto para una mejor solución e implementación de la misma ya que se demostró que es viable y rentable.

La tecnología de WiFi es una red inalámbrica alternativa que por su sencillez, adaptabilidad y su implementación para entornos rurales es una forma rápida de llegar a estas zonas con baja densidad poblacional, satisfacer a la sociedad y a los estudiantes que tienen la necesidad de acceder a las tecnologías de información como es el internet. En virtud a todo esto el proyecto debe tomar muy en cuenta todos estos aspectos, exclusivamente los de orden social, técnico y económico, esto por las condiciones de vida de los habitantes del lugar.

CAPITULO I

ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene la finalidad de hacer un estudio de las características técnicas y análisis económico como la elección de equipos a ser utilizados para nuestro proyecto, que es “Estudio de una red inalámbrica para el Municipio de Colquenchá”, por consiguiente realizar un diseño de la red de enlace WiFi (Wireless Fidelity o fidelidad sin cables), Tecnología de comunicación inalámbrica mediante ondas, también llamada WLAN (Wireless Lan, Red inalámbrica) o estándar IEEE 802.11, utilizando métodos de diseño, cálculo y así analizarlos, valorar las pérdidas que existen en nuestro trabajo de fin de carrera.

El proyecto tiene la función principal de proponer y solucionar la brecha digital existente en nuestro país entre área urbana y rural, haciendo que las tecnologías de información y comunicación (TIC) por medio del Internet en áreas rurales y de bajo costo a través de nuestro enlace, pueda generar una herramienta de conocimiento como gobernabilidad en instituciones municipales, en el sector de la educación y la salud.

El resultado de lo expuesto anteriormente es un proyecto de fin de carrera que analiza y estudia la parte técnica de las comunicaciones inalámbricas en escenarios aislados como es el municipio de Colquenchá, y las compara y obtiene conclusiones, preocupándose del impacto en el desarrollo humano y tecnológico que éste tiene para el sector de la población.

1.2 ANTECEDENTES

WiFi es una tecnología potentísima y debe considerarse para dar solución a la interconectividad a través del aire por medio de microondas.

Es por eso que es posible brindar servicio de internet a los lugares más alejados. En nuestro país esto sería muy importante, pero la desventaja es que en nuestro país la situación geográfica no permite que esto sea realmente posible. Es por eso que este servicio solo está disponible en las ciudades más pobladas por la necesidad de comunicación.

Por tal motivo que se tomó en cuenta esta información:

Hay más de 61 proveedores de servicio de Internet registrados hasta 2016. El 78% está concentrado en Santa Cruz, La Paz y Cochabamba.

Es así que en que países vecinos se hicieron proyectos de enlaces inalámbricos WiFi o Wimax con resultados aceptables, acá en nuestro país mencionar servicios de esta tecnología existen muchas en especial con la primera tecnología.

El municipio de Colquencha, perteneciente a la provincia Aroma del departamento de La Paz se encuentra en zona rural por tal razón se hacía menos importante este lugar en contar servicios como salud y educación por ende contar con servicios de telecomunicación para su desarrollo social económico y educacional.

Anteriormente se puede observar ya que se hicieron a la vez desarrollados varios proyectos de enlaces inalámbricos en zonas rurales como a nivel nacional e internacional, como es así entornos de difícil acceso a través de la tecnología WiFi cuya penetración es sencilla, versátil y de bajo costo para el beneficio social de muchos pobladores.

1.3 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Un informe confirma las primeras estimaciones de la UIT, según las cuales a fines de 2016 el mundo había alcanzado un nivel sin precedentes de acceso a las TIC, concretamente: 4.000 millones de abonados a la telefonía móvil y 1.300 millones de líneas de teléfono fijo. Además, casi un cuarto de los 6.700 millones de habitantes del planeta utilizan Internet. Sin embargo, el nivel de penetración de la banda ancha en los servicios fijo y móvil sigue siendo relativamente bajo, a saber, del 6% y el 5%, respectivamente. Existen importantes diferencias en cuanto al nivel de las TIC entre las regiones y entre las economías desarrolladas y en desarrollo.

Es por eso que el secretario general de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), Houlin Zhao, elogió hoy el desarrollo de ese sector en Bolivia durante la última década y ofreció cooperación en proyectos conjuntos para acentuar el progreso.

Dentro de los avances, el representante de la UIT¹ mencionó el lanzamiento del satélite Túpac Katari, como las Redes Inalámbricas, que permitió extender los servicios a la población de las zonas rurales. También elogió la consolidación de la Empresa Nacional de Telecomunicaciones (Entel) como la más importante del país, tras su nacionalización en 2008. Houlin Zhao realiza una visita a esta nación sudamericana, donde se entrevistará con el presidente Evo Morales. 'Estoy muy feliz de estar acá y ver el desarrollo que ha tenido Bolivia en estos 10 años', dijo. El secretario general de la UIT abogó por desarrollar proyectos con las universidades bolivianas para avanzar en los desafíos aún pendientes.

En el municipio de Colquencha cuenta con un servicio bajo en servicio de internet, es por tal razón para su mejor desempeño gubernamental así como mejorar servicios como la salud y sobre todo la educación, sugerimos y planteamos una alternativa de solución para su demanda ya que empresas como Tigo, Viva, Entel, Axs y otras que no llegan a cubrir las necesidades de estos lugares alejados del área urbano. El proyecto propone estudiar, calcular, dimensionar una red WiFi en base estándar 802.11n, para proporcionar al municipio el internet ya que las personas que habitan se ven afectadas y perjudicadas ante esta problemática por la falta de este servicio tecnológico.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio de factibilidad, calculo y diseño de la red inalámbrica para el Municipio de Colquencha, por medio de la tecnología WiFi, empleando los equipos adecuados, que permita al Municipio contar con este servicio de Internet de beneficio para la educación y la comunidad, así reducir la brecha existente entre el área rural y urbana.

¹ Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo especializado en telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICO

- Analizar el fundamento teórico para enlace inalámbrico, con los conocimientos adquiridos y la ingeniería de telecomunicaciones, podemos realizarlo con ayuda de herramientas y la experiencia obtenida en el campo laboral y durante el tiempo de estudio en la Facultad de Ingeniería.
- Realizar el estudio y análisis de las características técnicas el estándar 802.11 hacer una comparación entre sus antiguas y nuevas versiones como también en la regulación normativa en Bolivia de esta tecnología inalámbrica de trabajo.
- Diseñar y dimensionar la red inalámbrica WiFi, como la elección de equipos a ser utilizados y el uso de la Modulación, el Ancho de Banda, el Canal y Frecuencia, la velocidad y el Throughput².
- Desarrollar, observar la cobertura que se brindara al municipio lugares y ambientes donde se instalaran los equipos, para su operación y mantenimiento del servicio a brindar.
- Aplicar y utilizar programas de simulación para nuestro proyecto, en base a los valores y cálculos obtenidos luego analizarlos para un mejor estudio y elección.
- Presentar un informe de conclusiones y recomendaciones, de acuerdo a los datos que nos brindara el avance del proyecto.

1.5 JUSTIFICACIÓN

1.5.1 JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA

Con dicho proyecto de grado se busca que esta red inalámbrica y la tecnología WiFi, logre la finalidad de que el internet sea un servicio, que esté al alcance de lugares alejados y cumpla esa función de poder acortar y ayudar a una

² En redes de comunicaciones, se llama throughput a la tasa promedio de éxito en la entrega de un mensaje sobre un canal de comunicación. La tasa de transferencia efectiva, es el volumen de trabajo o de información neto que fluye a través de un sistema.

determinada parte de la sociedad y por ende al gobierno de nuestro país a que dicho municipio se comunice con el mundo.

Este crecimiento inalámbrico de la red es mucho más eficiente que un crecimiento a nivel de cableado ya que este es mucho más costoso a nivel de instalación y mantenimiento. La frecuencia a la que opera WiFi permite bajos niveles de pérdidas por propagación en el espacio y factores que por lo general ocasionan pérdidas de potencia como la lluvia, paredes o árboles no afectan la transmisión de ondas de esta tecnología haciéndola entonces de gran utilidad.

Bolivia, al igual que Perú y Paraguay, es uno de los países de la región que más tardíamente ingresará a la dinámica de incubación de economías de conocimiento vía ciudadelas tecnológicas. Los primeros intentos de realizar un proyecto de esa índole en Bolivia surgieron en 2010, con la idea de hacer una ciudad digital en Oruro y otra en La Paz. Si bien estos proyectos no llegaron a efectuarse, lo ideal renació con una promesa política que el presidente Evo Morales formuló en su campaña electoral 2014: construir una ciudad de conocimiento en Cochabamba.

1.5.2 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA –SOCIAL

El conocimiento era, hasta hace no mucho, un factor exógeno prescindible dentro de los recursos que normalmente intervienen en la función de producción: capital, tierra y mano de obra. En cambio, hoy se ha convertido en un factor crucial, que sustenta nuevas industrias y movimientos económicos de gran magnitud. Este giro fue resultado de las varias transformaciones que las TIC propiciaron en la economía capitalista moderna.

La implementación de un enlace WiFi en cuanto a costos es menor, puesto que el servicio propuesto es factible dentro de sus posibilidades en comparación a otros productos del mercado, pues los beneficios que pueden ser adquiridos de esta tecnología es la mejor calidad de vida en la educación y comunicación.

1.5.3 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA LEGAL

a) Constitución Política del Estado

Título II, Cap. II Art. 348: Parágrafo I: Son recursos naturales los minerales en todos sus estados, los hidrocarburos, el agua, el aire, el suelo y el subsuelo, los bosques, la biodiversidad, el espectro electromagnético y todos aquellos elementos y fuerza física susceptible de aprovechamiento. Parágrafo II: Los recursos naturales son de carácter estratégico y de interés público para el desarrollo del País.

b) Plan Nacional de Desarrollo

El PND formula dentro de sus lineamientos estratégicos para el Sector Telecomunicaciones el “Sector fortalecido, integrado y soberano” que expresa la necesidad de articular y fortalecer de manera integral a los actores del Sector, consolidando el control soberano del Estado en el mismo, para el desarrollo de la Bolivia Digna, Soberana. Democrática y Productiva.

c) Plan Sectorial de Telecomunicaciones

Elaborado y consensado con las entidades del Sector; para el periodo 2010 – 2015; contempla dentro de su estructura programática el Proyecto de “Sistema de Gestión Nacional del Espectro Electromagnético”; como un proyecto estratégico dentro del Programa de “Intensificación de la regulación de las actividades de telecomunicaciones.

d) Ley N° 164 “Ley General de Telecomunicaciones, Tecnologías de Información y Comunicaciones

La ley N° 164 “Ley General de Telecomunicaciones, Tecnologías de Información y Comunicaciones” del 08 de agosto de 2011, que establece que la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Telecomunicaciones y Transportes - ATT se denominará en adelante Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes – ATT y asumirá las atribuciones, competencias, derechos y obligaciones en materia de telecomunicaciones y

tecnologías de la información y comunicación, transportes y del servicio postal, bajo tuición del Ministerio de Obras Públicas Servicios y Viviendas.

1.6 ALCANCES Y LIMITES DEL PROYECTO

1.6.1 ALCANCES

- El siguiente proyecto tiene el fin de proporcionar el servicio de internet para el Municipio de Colquencha, a través de una red inalámbrica ayudando a las unidades educativas, centros de salud, la comunicación de los estudiantes, profesores y personas del lugar.
- Este trabajo incluye y comprende un diseño de aplicación, pensando en su posterior implementación y pueda ser ampliado, mejorado en un futuro próximo para el beneficio del Municipio.
- Incluye un estudio de factibilidad del enlace WiFi, tanto a nivel tecnológico y técnico como también del económico para su sostenibilidad del mismo.

1.6.2 LIMITES

- Este proyecto sugiere los lugares y torres, donde pueden ser instaladas para que trabajen las mismas sin ningún problema.
- Mencionar también que el proyecto solo llegar hasta el gabinete de para su posterior implementación y puede ser ajustable de acuerdo a las posibilidades físicas de la torres.
- En el estudio del proyecto no contempla ni incluye la velocidad de transmisión o throughput ya que depende de factores de configuración de los equipos como del proveedor de servicios.
- Este proyecto solo se limita o cálculos teóricos y observaciones, basados en experiencia propia adquirida en el campo de trabajo de las telecomunicaciones, enmarcado en las regulaciones y normas nacionales para el enlace.

1.7 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE COLQUENCHA

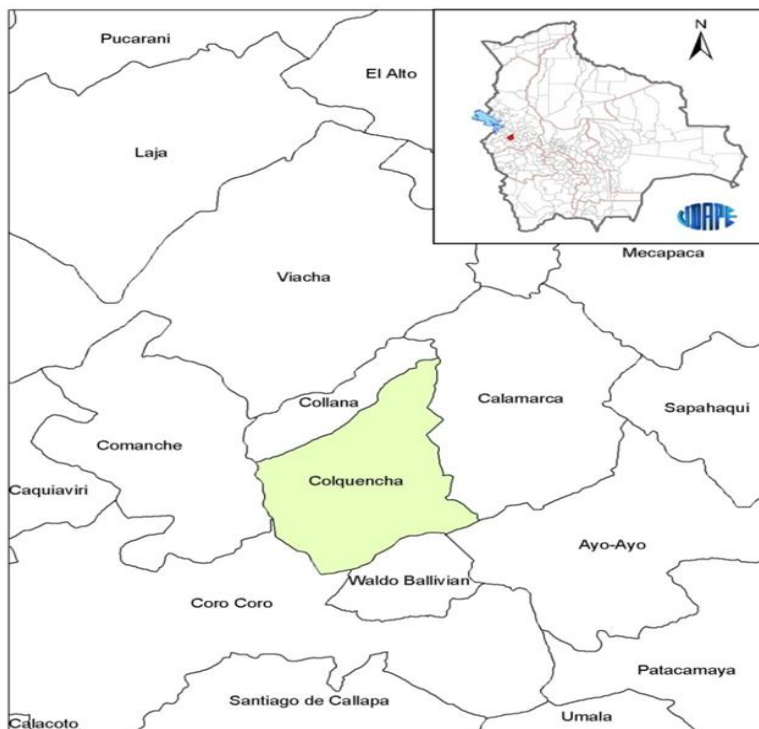


Figura 1: Ubicación geográfica del municipio de Colquenchá
Fuente: [www. http://autonomias.gobernacionlapaz.com](http://autonomias.gobernacionlapaz.com)

El Municipio de Colquenchá, pertenece a la provincia Aroma, del departamento de La Paz, está ubicada al Sur-oeste del altiplano del departamento de La Paz, se halla a 75 Km de la ciudad de el Alto. Para acceder al Municipio se debe atravesar la carretera interdepartamental La Paz – Oruro recorriendo 55 Km. hasta cruce Vilaque, de la cual se desvía por el lado derecho 20 km, hasta llegar a la capital de Colquenchá que lleva el mismo nombre del Municipio, donde se encuentra la casa consistorial que alberga al Honorable Alcalde y Consejo Municipal. Las vías de acceso pueden ser transitadas durante todo el año.

Según el mapa de la regionalización emitido por el Ministerio de Autonomías y corroborado por la entonces prefectura del Departamento de La Paz, pertenece a la Región Altiplano Sur.

1.7.1 LATITUD Y LONGITUD

El territorio del Municipio de Colquenchá, se halla comprendido entre las coordenadas planas de: 586245 m este, 8137121 m norte 578270 m este

8109594 m norte (sistema de referencial mundial W.G.S.³ 84 zona 19 Universal Transversa Mercator), con una extensión de 311 Km². Así mismo se encuentra a una altura promedio de 4.018 m.s.n.m. y tiene como capital la población de Colquencha.



Figura 2: Imágenes del Municipio de Colquencha
Fuente: Elaboración Propia

1.7.2 EXTENSION

Según los datos obtenidos por la fundación SARTAWI SAYARIY (2009), el municipio de Colquencha cuenta con una superficie de 311 Km². Dato obtenido a partir del levantamiento topográfico realizado por el IGM⁴ en 1993, representando el 7% de la superficie total de la provincia.

³ El WGS (World Geodetic System que significa Sistema Geodésico Mundial 1984) es un sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra.

⁴ IGM Instituto Geográfico Militar, es la agencia cartográfica nacional de Bolivia. Tiene a su cargo la formación de los mapas del país así como de la demarcación de los límites departamentales, provinciales, seccionales y cantonales.

1.7.3 LÍMITES TERRITORIALES

El municipio de Colquencha limita: al norte con el municipio de Collana; al Este con el municipio de Calamarca y parte del municipio de Ayo Ayo; al Sur con el municipio de Coro Coro y parte del municipio de Waldo Ballivian, ambos correspondientes a la provincia Pacajes; y al Oeste con el municipio de Comanche y parte de Collana. Según la Unidad de Límites de la Gobernación del Departamento de La Paz.

1.7.3.1 DIVISIÓN POLÍTICA – ADMINISTRATIVA



Figura 3: Mapa del Municipio de Colquencha
Fuente: www.educa.com.bo/geografia/provincia-aroma-mapa

1.7.3.2 CANTONES

El Municipio Colquencha fue creado por ley N° 1214 del 14 de diciembre de 1990, como la sexta sección municipal de la provincia Aroma durante el gobierno de Jaime Paz Zamora, Presidente Constitucional de la República de Bolivia, con su capital Colquencha comprendido por los siguientes cantones: Santiago de Llalagua, Marquirivi, Machacamarca, Micaya y Collana, (ver Tabla 1). El Municipio está compuesto por 31 comunidades de las cuales ocho comunidades le

pertenece a Colquencha, seis a Marquirivi, seis a Machacamarca, tres a Micaya y ocho a Santiago de Llalagua.

Cantón	Fecha de creación	Gobierno	Nº de ley	Fecha Personalidad Jurídica
Colquencha	14 de diciembre de 1990	Jaime Paz Zamora	1214	
Marquirivi	19 de Noviembre de 1986	Víctor Paz Estensoro	900	13/01/95
Micaya	18 de Octubre de 1984	Hernán Siles Suazo	656	13 /01/95
Santiago de Llalagua				2002
Machacamarca	21 de febrero de 1989	Víctor Paz Estensoro	1080	20/04/04

Tabla 1: Leyes de creación de los cantones de Colquencha

Fuente: Gaceta del gobierno Plurinacional de Bolivia-2010/ Departamento de fortalecimiento comunitario de la prefectura

1.7.3.3 COMUNIDADES Y CENTROS URBANOS

Las 31 comunidades y cinco centros urbanos (áreas concentradas) del municipio de Colquencha, se detallan en el siguiente cuadro.

Cantón	Comunidades	Descripción
Colquencha	Centro Asunción*, Chojñacota, Pantipantini, Villa Ramírez, Villa Esperanza, Chijipampa, Villa Florida Ticuyo.	Las comunidades del cantón Colquencha tienen la característica de que sus comunidades están dentro de un radio de área concentrada
Santiago de Llalagua	Achoco, Huancarami, Jalsuri, Acerfujo, Juiracollo, Collpani, Cultani, Centro*.	El cantón Santiago de Llalagua es el cantón más alejado del centro del municipio con sus comunidades dispensas en diferentes áreas
Marquirivi	Villa Esperanza, San Agustín, Copaphujo, Collpani, Tupaj Katari, Villa de la Cruz.	Las comunidades del cantón Marquirivi tienen la característica de que sus comunidades están dentro de un radio de área concentrada
Micaya	El Porvenir, Primavera, Nueva Esperanza.	Las comunidades del cantón Micaya tienen la característica de que sus comunidades están dentro de un radio de área concentrada
Machacamarca	Escohoco, Collmini, K'amani, Posocani, Centro*, Chullumpiri.	Las comunidades del cantón Machacamarca tienen la característica de que sus comunidades están dentro de un radio de área concentrada

Tabla 2. Comunidades y Centros urbanos

Fuente: Auto - Diagnostico Municipal 2012

1.8 ASPECTOS FISICOS NATURALES

1.8.1 DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA

Fisiográficamente el municipio corresponde a la cordillera alto andina, praderas, puna y paramo altiplánico. Se encuentra zonificada como: zona alto andina por el clima adverso y presencia de heladas lo que deriva que pocas especies resistan estos factores climáticos, los cantones que forman parte de esta zona son el cantón Santiago de Llalagua, y parte de los cantones de Marquirivi y Colquencha, que también forman parte de la puna junto al cantón Micaya gracias a esta condición es que este cantón cuenta con condiciones adecuadas para la producción agrícola pecuaria.

1.8.2 ALTITUDES

El municipio de Colquencha se caracteriza por ser una región de tierras altas con un rango altitudinal que fluctúa de 3940 y 4100 m.s.n.m. según la carta topográfica (IGM) y corroborado por el Google Earth, el municipio está representado por dos tipos de pisos ecológicos como son: Alto andino y Puna, por lo que los cantones con mayor elevación altitudinal son: Santiago de Llalagua y Colquencha y los cantones con menor elevación son: Machacamarca, Micaya y Marquirivi

Cantón	Rangos Altitudinales
Colquencha	3975
Marquirivi	3950
Machacamarca	3896
Santiago de Llalagua	4027
Micaya	4020

Tabla 3. Características Altitudinales
Fuente: Modelo Digital de Elevaciones de ASTER

1.8.3 RELIEVE

El relieve está conformado por una pequeña Cadena de serranías altas y rocosas, planicies, planicies aluviales y colinas, con pie de monte y boreales. Cuenta con paisajes de relieve moderadamente bajo por lo que la erosión es leve, de tipo laminar, en surcos y en cárcavas, con algunas efloraciones salinas.

1.9 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS Y CLIMATOLÓGICAS.

La topografía del municipio de Colquencha se diferencia entre las zonas de serranías y planicies, entre las primeras cuenta con una pendiente poco pronunciada que varía del 20% al 25%, se las localiza hacia el sur son quebradas de consistencia pedregosa también reconocidas como unidades geomorfológicas de origen estructural.

El municipio de Colquencha, por su fisiografía, topografía, clima, vegetación natural y suelos, corresponde a la región alto andina como son las cordilleras, praderas, puna y paramo altiplánico. Por sus condiciones agroclimáticas se identifican dos tipos de pisos ecológicos, andino y puna.

La región alto andina se distingue por ser rocosa con pequeñas inclusiones de llanura, pie de monte y bofedales, por lo general cubiertos de pastos naturales y thola lo que lo vuelve apto para el pastoreo y muy accidentado para el cultivo agrícola por la capacidad de absorción de las plantas y su difícil asimilación a su estado rocoso, se caracterizan por ser suelos bien drenados, mayormente de origen calcáreo. El piso ecológico puna, se caracteriza por tener pendientes menores al 15%, esta característica lo hace adecuado para el cultivo agrícola por la fácil introducción de tecnología como es el tractor, por lo tanto son áreas en las que los poblados mejor han podido establecerse.

En cuanto a la climatología el municipio como tal no cuenta con una estación meteorológica, por lo que se considera referencialmente la estación de Collana, que está ubicada a 16°51' latitud sur y a 68°20' longitud oeste y cuenta con una altitud de 3940 m.s.n.m. forma parte de la provincia Aroma y coincide con las

características del municipio de Colquencha⁵. Con respecto al clima el municipio presenta una precipitación anual promedio de 467.26 mm, determinando un clima árido y con heladas, donde las actividades económicas son restringidas.

1.10 POBLACIÓN

La población del municipio se encuentra dividida en grupos de acuerdo a las funciones, beneficios que perciben. Durante la gestión 2010 según el diagnóstico comunal se pudo evidenciar que el municipio cuenta con 9152 habitantes los mismos están divididos en grupos atareos.

MUNICIPIO DE COLQUENCHA				
CANTONES	HOMBRES	MUJERES	TOTAL	FAMILIAS
Colquencha	1509	1556	3065	613
Machacamarca	855	965	1820	364
Marquirivi	762	830	1592	318
Micaya	326	370	696	140
Santiago de Llagua	1038	941	1979	396
Total	4490	4662	9152	1831

Tabla 4. Población del municipio por género
Fuente: Auto diagnóstico 2012

La población con respecto al género durante el censo 2001 estaba dividida en 3.977 hombres y 4.043 mujeres. En la actualidad según el diagnóstico comunal 2010 la población es de 9152 habitantes durante la gestión 2010 se pudo que la población ahora está dividida en 4490 varones y 4662 mujeres.

1.11 RECURSOS NATURALES

1.11.1 FLORA

En el municipio de Colquencha al realizar el diagnóstico municipal se ha logrado identificar plantas nativas distribuidas en los diferentes cantones, los cuales son herbáceas, arbustivas. Arbóreas las mismas que se han clasificado por el modo de

⁵ Datos del Municipio de Colquencha. Extraído del Plan de Desarrollo Municipal Colquencha. <http://gobnacionlapaz.com/municipio/pdm/colquencha2000-2004.pdf>

uso que le dan los pobladores en: alimenticias, medicinales, forrajeras, leña, construcción y turismo.

1.11.2 PRINCIPALES ESPECIES

Las especies que predominan en los diferentes cantones son: las hierbas, arbustos y árboles, de los cuales destaca por su importancia económica y turística la puya Raimondi originariamente llamada “Qara”, por haber sido declarada patrimonio natural del departamento de La Paz, durante el gobierno del prefecto Pablo Ramos Sánchez, en fecha 27 de noviembre del 2008, esta planta crece en el cantón Santiago de Llallagua y su importancia radica en que su floración solo se da cada 100 años.

También se puede observar la existencia de diferentes clases de Thola, plantas medicinales como el paico, kanapako, lampazo, Sicuya, siki, coa, sehuenca que además tiene la facultad de evitar la erosión por lo delgadas de sus raíces, y algunas clases arbóreas como la Quiswara y el pino. El cuadro N° 9 se puede observar, en donde los encontramos, para que son utilizados y sus nombres científicos.

1.11.3 RECURSOS FORESTALES

Al realizar el Plan de Desarrollo Municipal se ha podido observar que los recursos forestales son representativos en el lugar, existen áreas arbóreas de las cuales destaca por la superficie que ocupa el cantón Micaya, aunque existen pequeñas superficies de plantaciones arbóreas en los demás cantones y se encuentran distribuidas en escuelas, viviendas, caminos y plazas. Las especies que se han identificado dentro del municipio son: eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Quiswara (*Budlea coriacea*), Pino (*Pinus radiata*) y Ciprés (*Cupressus macrocarpa*), se debe aclarar que todas estas especies son introducidas y no son nativas del lugar.

1.11.4 RECURSOS HÍDRICOS

Los recursos hídricos con los que cuenta el municipio de Colquencha, se diversifica en ríos, aguas subterráneas y lagunas.

El municipio de Colquencha, al no contar con fábricas, sistemas de desagüe y actividad minera que contamine los recursos hídricos, tienen una buena calidad de fuentes de agua. Esto podría mejorar si existiera en el municipio un control de los desechos sólidos los mismos que en algunos lugares son botados en los ríos que en ciertas épocas del año están secos.

1.11.5 RECURSOS MINERALES

Como se ve en la historia sobre la creación del municipio de Colquencha, los primeros asentamientos de los cantones Colquencha y Marquirivi se dieron por la explotación de piedra caliza, aun ahora a pesar de que, la explotación de este material a disminuido se cuenta con uno de los yacimientos más importantes cuya ubicación está en Colquencha – Collana, según cálculos hechos por el ministerio de minería, sus reservas se calculan en 3.500.000 TM de material calcáreo, se encuentra a 12 km de la estación de cruce Vilaque, cerca al cantón Machacamarca. Pero Colquencha también cuenta con otros recursos mineralógicos los mismos que describimos en el cuadro siguiente:

Recursos	Cantones	Explotación
Piedra Caliza	Colquencha, Collana Marquirivi	Antes: Intensiva Ahora: Extensiva
Mármol	Colquencha, Collana Marquirivi	Extensiva, si existe una cierto grado de explotación.
Piedra Tarija	Colquencha, Santiago de Llallagua, Marquirivi	Su explotación es mínima
Arena sílice	Machacamarca, Colquencha Marquirivi	Extensiva, puesto que solo es explotado un 15 % de su s reservas.
Arcilla	Micaya, Santiago de Llallagua	Potencial, porque su importancia en fabricación de cerámica le daría un valor agregado.
Oro	Micaya	La explotación de oro es reciente y mínima, por lo que aun es un potencial.

Tabla 5. Recursos Mineralógicos del Municipio
Fuente: Auto - Diagnostico Municipal 2012

1.11.6 COMPORTAMIENTO AMBIENTAL

El comportamiento ambiental del municipio de Colquencha es de acuerdo a tres factores antrópicos, naturales y natural antrópico.

Y en la actualidad el comportamiento ambiental es sostenible esto quiere decir que a pesar del grado de urbanización con el que cuenta, no genera impactos significativamente contaminantes, puesto que no cuenta con industrias o fábricas, y la explotación de minerales como el oro es aun potencial, con respecto al parque automotor no se tiene aún un exceso de unidades vehiculares, por la cantidad de población y superficie, con la que cuenta el municipio.

El problema más común que se presenta dentro el municipio es respecto al uso y destino final de los desechos sólidos y la basura, el mismo según el diagnóstico comunal realizado es quemado, botado a campo abierto esperando que desaparezca con el tiempo, o se escava y se coloca dentro del suelo, situación que afecta de forma lenta al medio ambiente.

1.11.7 SUELO

El recurso suelo en el municipio presenta el problema de la basura que es depositada a campo abierto y se disemina con el viento para luego mezclarse durante las etapas productivas del año, también sufre de una sobreexplotación por las actividades agrícolas y ganaderas, por la pequeña tenencia de tierra con la que cuentan, además de los surcos hechos a favor de la pendiente, dan como resultado un cierto grado de erosión, además de la pérdida de actividad microbiana reduciendo la aireación del suelo y la asimilación de nutrientes por parte de las plantas, esta situación afecta las características edafológicas del suelo, sanidad del ganado y finalmente afecta al hombre ya sea a su producción o salud.

1.11.8 AIRE

Como ya vimos en el tema de los desechos sólidos ó basura al realizar la quema indiscriminada se provoca un ambiente adverso. También se llegan a dar las quemas de los campos que serán utilizados para el pastoreo y cultivo de productos, esta práctica se la realiza en la época de invierno cuando estas áreas tienen una cobertura vegetal seca.



CAPITULO II

REDES INALAMBRICAS

2.1 INTRODUCCION

Con la necesidad exhaustiva de comunicarnos continuamente, el avance tecnológico de los últimos años, el crecimiento masivo del uso de Internet para múltiples tareas empresariales, educativas, domésticos o simplemente entretenernos, ha dado como resultado que nuevas tecnologías se hayan creado en la última década pasando por múltiples problemas de escalabilidad y de convergencia, haciendo que el cobre deje de ser nuestra limitante al momento de querer acceder a este tipo de servicios que hoy en día son tan indispensables en la vida cotidiana de las personas.

El sector inalámbrico dominara el futuro de las telecomunicaciones y son redes que permiten el acceso inalámbrico o sin cables, a diferentes tipos de recursos y servicios disponibles ya sea en internet o en una red local, y que se caracterizan por ser diseñadas e implementadas esperando contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de las personas. En este punto se puede entender la importancia de que el lugar o sitio, sea parte activa del proceso mismo de concepción, implementación y mantenimiento de la red.

2.2 TECNOLOGIA INALAMBRICA

Las redes inalámbricas permiten la interconexión entre dos o más puntos, nodos o estaciones, por medio de ondas electromagnéticas que viajan a través del espacio llevando información de un lugar a otro. Para lograr el intercambio de información existen diferentes mecanismos de comunicación o protocolos que establecen reglas que permiten el flujo confiable de información entre nodos. Por ejemplo, el conjunto de protocolos TCP/IP⁶ utilizado en redes de computadoras como internet, permite que cualquier computadora que los implemente pueda comunicarse con otra que se encuentre conectada a la misma red.

⁶ Es un conjunto de protocolos TCP/IP que permiten la comunicación entre los ordenadores pertenecientes a una red.

Los estándares son una serie de normas que definen la forma en que se deben realizar ciertos procesos para garantizar la calidad y seguridad de su funcionamiento, sin importar el tipo de dispositivo o las diferencias en su construcción. Los estándares facilitan además la interoperabilidad entre componentes aunque estos tengan características diferentes. Existen diferentes organismos internacionales que originan estándares; en el área de telecomunicaciones se encuentran, por ejemplo, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, por su sigla en inglés) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

Una de las principales ventajas de las redes inalámbricas es el costo ya que no hay necesidad de cable Ethernet⁷ y una de sus principales desventajas es que debe tener un sistema de seguridad mucho más exigente para así poder evitar intrusos.

Los posibles tipos de onda en redes inalámbricas según son:

- **Microondas terrestres:** Son ondas electromagnéticas que comunican dos antenas parabólicas a grandes distancias. El emisor y el receptor deben estar perfectamente alineados. Su frecuencia es de 1 a 300 GHz.
- **Microondas por satélite:** La información se reenvía de un satélite, es de las ondas más flexibles pero es fácil que sufra interferencias. Su frecuencia es desde 300 MHz hasta 300 GHz.
- **Infrarrojos:** Deben estar alineados directamente, no atraviesan paredes y tienen una frecuencia de 300 GHz a 384 THz. Los infrarrojos son útiles para las conexiones locales punto a punto así como para aplicaciones multipunto dentro de áreas de cobertura limitada como por ejemplo una habitación. Una diferencia significativa entre la transmisión de rayos infrarrojos y las microondas es que los primeros no pueden atravesar paredes
- **Ondas de radio:** Las ondas de radio son fáciles de generar, pueden viajar distancias muy largas y penetrar edificios sin problema, de modo que se utilizan

⁷ Hace referencia a la Red de Área Local, también conocido como LAN, pero ignorar que detrás de esta denominación se encuentra un estándar llamado Ethernet, el cual determina las particularidades físicas y eléctricas que debe poseer una red tendida con este sistema.

mucho en la comunicación tanto en interiores como en exteriores. Son omnidireccionales, no necesita de parabólicas y no es sensible a los cambios climáticos como la lluvia. Hay varios tipos de banda, se puede transmitir con una frecuencia de 3 a 30 Hz y un máximo de 300 a 3000 MHz.

Básicamente hay dos tipos de transmisiones inalámbricas:

i) Direccional:

También llamada sistemas de banda angosta (narrow band) o de frecuencia dedicada, la antena de transmisión emite la energía electromagnética en un haz; por tanto en este caso las antenas de emisión y recepción deben estar perfectamente alineadas. Para que la transmisión pueda ser enviada en una dirección específica, debemos tener en cuenta la frecuencia, la cual debe ser mucho mayor que la utilizada en transmisiones omnidireccionales.

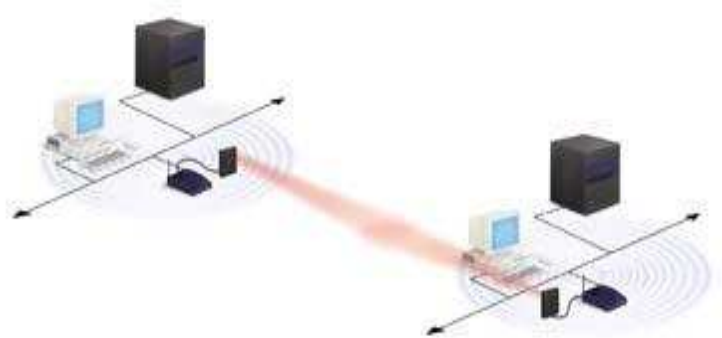


Figura 4: Interconexión de LAN mediante antenas direccionales
Fuente: <https://es.slideshare.net/webconomia/manual-redes-wifi-inalambricas>

ii) Omnidireccional:

O también llamados sistemas basados en espectro disperso o extendido (spread spectrum), al contrario que las direccionales, el diagrama de radiación de la antena es disperso, emitiendo en todas direcciones, pudiendo la señal ser recibida por varias antenas. En general cuanto mayor es la frecuencia de la señal transmitida es más factible concentrar la energía en un haz direccional.

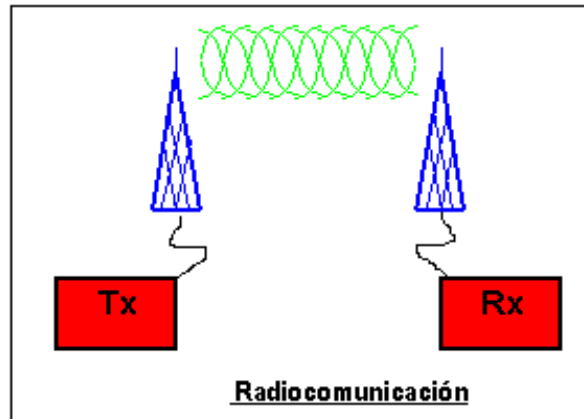


Figura 5: Interconexión Omnidireccional

Fuente: <https://es.slideshare.net/webconomia/manual-redes-wifi-inalambricas>

2.3 TIPOS DE REDES INALAMBRICAS

Las comunicaciones inalámbricas de acuerdo con su alcance se dividen en 4 sistemas de redes como son:

- WPAN (Wireless Personal Area Network)
- WLAN (Wireless Local Area Network)
- WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)
- WAN (Wireless Wide Area Network)

En la figura siguiente se puede observar un esquema de estos 4 tipos de redes inalámbricas.

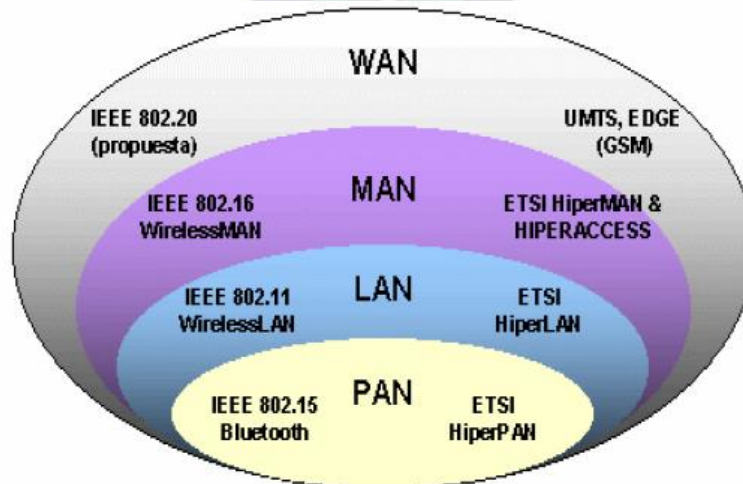


Figura 6: Posicionamiento de Estándares Wireless

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Red_inalambrica#/media

Las redes WPAN normalmente cubren distancias menores a los 10 metros y son utilizadas para la conexión entre varios dispositivos portátiles sin necesidad de utilizar cables. Este tipo de redes alcanzan velocidades de hasta 1Mbps y son usadas principalmente para teléfonos celulares ya que estas redes tienen un bajo consumo de energía, un ejemplo del uso de esta red en celulares es el uso de la tecnología Bluetooth.

Las redes WLAN normalmente cubren distancias menores a los 100 metros y son utilizadas para redes con relativamente alta capacidad de datos. Este tipo de redes pueden ofrecer velocidades desde 1Mbps hasta 1Gbps y son usadas principalmente en computadoras personales ya que son los que tienen mayor abastecimiento de energía. La tecnología WiFi es la más popular en este tipo de redes.

Las redes WMAN pueden cubrir distancias hasta de 50 kilómetros y por lo general son utilizadas para brindar servicio de Internet a zonas sub-urbanas a través del uso de diferentes tecnologías, siendo Wimax una de ellas. Este tipo de redes en condiciones ideales pueden llegar a alcanzar velocidades de hasta 10 Gbps haciendo uso de Fibra Óptica.

Las redes WAN son las redes utilizadas para la conexión de redes WLAN, haciendo uso de tecnologías de red celular de comunicaciones móviles como Wimax móvil, GPRS, GSM, EDGE, 3G y LTE para la transferencia de datos. Estas redes tienen un alcance hasta de 1000 kilómetros por lo cual son usadas para dar servicio de Internet móvil a las redes WLAN aisladas.

2.4 TOPOLOGÍAS DE REDES INALÁMBRICAS

Toda red inalámbrica compleja está constituida por la combinación de uno más de los siguientes tipos de conexiones:

- Punto-a-Punto
- Punto-a-Multipunto
- Multipunto-a-Multipunto

Cualquier tipo de red inalámbrica aunque no sea WiFi, estará constituida por la combinación de estas configuraciones básicas, Es importante volver a estos

bloques fundamentales cuando se analiza una red compleja. A medida que la red crece en complejidad, se puede hacer más difícil de analizar. Pero si se reducen diferentes porciones de una red compleja a sólo una de estas tres topologías, se verá claramente cómo es el flujo de la información en la red.

Tenga en mente que ninguna de estas topologías es la “mejor”. Cada una tiene sus ventajas e inconvenientes y deben ser aplicadas apropiadamente al problema que se desea resolver.

2.4.1 PUNTO A PUNTO

La conexión más simple es un enlace punto-a-punto. Estos enlaces pueden usarse para extender su red a grandes distancias.

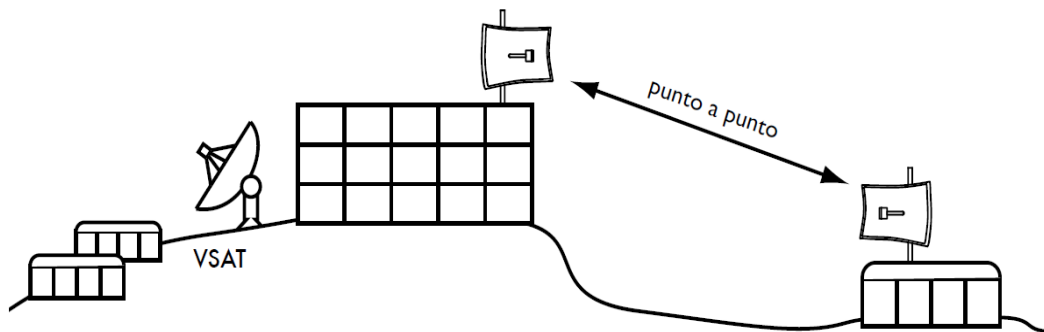


Figura 7: Enlace Inalámbrico punto a punto
Fuente: Redes Inalámbricas en Países en Desarrollo

Los enlaces punto a punto ofrecen el mayor caudal posible entre todas las configuraciones mencionadas porque hay muy poca contienda por el uso del canal.

2.4.2 PUNTO A MULTIPUNTO

Cuando más de un nodo debe comunicarse con un punto central tenemos una red punto a multipunto como se observa en la figura.

La red punto a multipunto es la topología más común. Considere el caso de un AP con muchos clientes.

A menudo las redes punto a punto pueden evolucionar hacia redes punto a multipunto cuando se corre la voz de que es posible conectarse a la inalámbricamente. El diseño de redes punto a multipunto es muy diferente del de

las redes punto a punto. No se puede simplemente reemplazar una antena parabólica por una omnidireccional y esperar que eso sea todo. La transición de punto a punto a punto multipunto aumenta la complejidad porque ahora se tienen múltiples nodos que compiten por los recursos de la red. El resultado neto es que el caudal total disminuye.

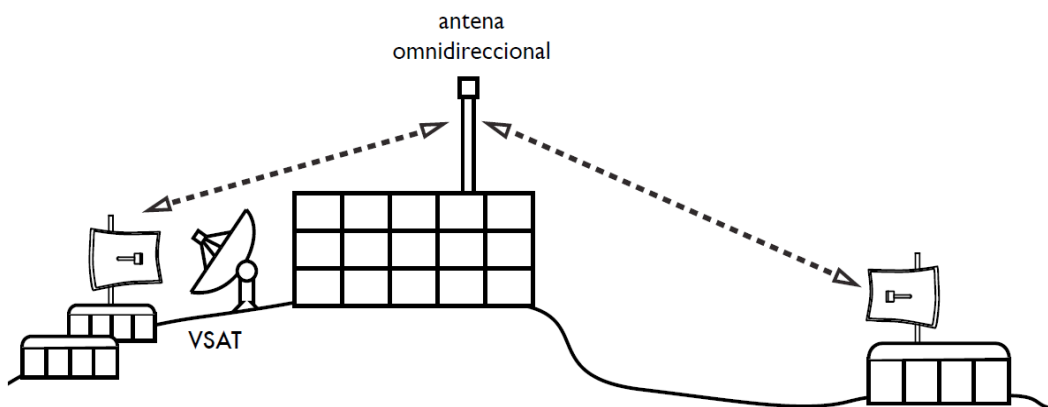


Figura 8: Enlace Inalámbrico punto a multipunto
Fuente: Redes Inalámbricas en Países en Desarrollo

2.4.3 MULTIPUNTO A MULTIPUNTO

Cuando cada nodo de una red puede comunicarse con cualquier otro tenemos una red multipunto a multipunto, también conocida como red en malla (mesh) o ad-hoc.

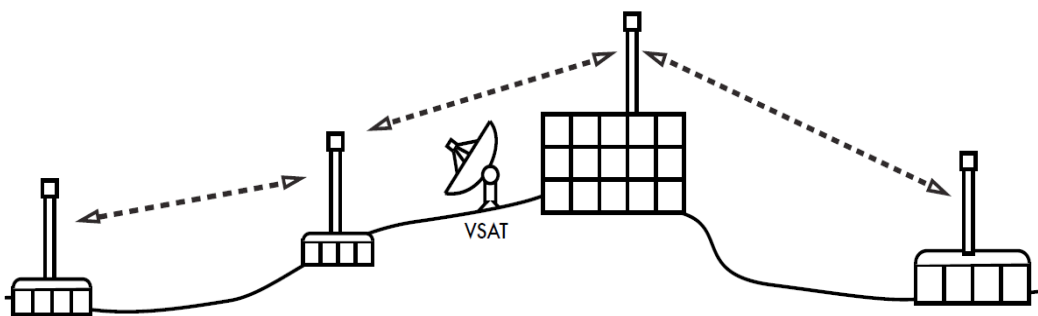


Figura 9: Enlace Inalámbrico multipunto a multipunto
Fuente: Redes Inalámbricas en Países en Desarrollo

Las redes Multipunto a Multipunto son considerablemente más complejas, pero también mucho más flexibles que la redes punto a multipunto. No hay una autoridad central en una red en malla. El protocolo de malla automáticamente

añade nuevos nodos a la medida que se incorporan a la red, sin necesidad de cambiar la configuración de ninguno de los nodos existentes.

Las redes en malla puede ser difíciles de afinar comparadas con las redes punto a punto y punto a multipunto.

Una dificultad obvia es la escogencia del canal a ser usado en la red. Puesto que cada nodo comunica con todos los demás, sólo se puede usar un canal en una malla dada. Esto reduce significativamente el caudal máximo posible.

2.5 MODOS DE FUNCIONAMIENTO EN WIFI

Los dispositivos WiFi pueden operar en alguno de los siguientes modos:

- Master (AP -Access Point)
- Managed (también llamado cliente o estación)
- Ad-hoc (usado en redes en malla)
- Monitor (no usado normalmente para comunicaciones)
- Otros modos no 802.11 (por ejemplo Mikrotik Nstreme o Ubiquiti AirMAX)

Cada modo tiene restricciones de operación específicas, y los radios sólo pueden operar en un modo en un momento determinado.

Los radios WiFi pueden operar en uno sólo de estos cuatro modos en un momento determinado. Esto significa que el mismo radio no puede funcionar simultáneamente como AP y como cliente.

Pero existen enrutadores inalámbricos que aceptan más de un radio en cuyo caso se puede tener un radio funcionando como AP (Access Point) y otro como cliente. Esto se usa a menudo en redes en malla para aumentar el rendimiento.

2.5.1 MODO MASTER

El modo master (también llamado modo AP o de infraestructura) se usa para instalar una red con un AP (punto de acceso) que conecta a diferentes clientes.

El AP crea una red con un nombre específico (denominado SSID ó ESSID) y un canal sobre el cual se ofrecen los servicios de la red. Los dispositivos WiFi en modo master pueden comunicarse sólo con los dispositivos asociados a ellos que estén en modo managed.

SSID (Service Set Identifier), es el identificador de la red. Cuando hay más de un AP en la misma red se usa el término ESSID (Extended SSID). Cuando hay un solo AP se puede usar BSSID (Basic SSID), todos ellos se refieren al nombre de la red, el cual tiene que ser el mismo para el AP y sus clientes.

Los AP crean redes WiFi punto a multipunto. Un radio operando en el modo master funciona como un AP, anunciando una red con cierto nombre en un determinado canal y permite que los clientes se le conecten. Puede haber limitaciones en el número máximo de clientes permitidos (el límite depende del modelo de AP usado).

2.5.2 MODO MANAGED

El modo Managed es llamado también modo cliente. Los dispositivos inalámbricos en modo managed se unirán a una red creada por el master y automáticamente cambiarán el canal para ajustarse al del master.

De los clientes que usan un determinado AP se dice que están asociados con él.

Los radios en modo managed no pueden comunicarse directamente entre sí y sólo se pueden comunicar con el master al cual están asociados.

A veces a un dispositivo en modo cliente o managed se le llama también “Estación” o también “CPE” (Customer premises equipment or customer provided equipment) - Equipo en las Premisas del Cliente.

2.5.3 MODO AD-HOC

El modo Ad-hoc mode, se usa para crear redes en malla donde:

- No hay dispositivos en modo master (AP)
- Se realiza la comunicación directamente entre todos los nodos

Los dispositivos deben estar dentro de su rango de cobertura para poder comunicarse y deben escoger un nombre de red y canal común. El modo Ad-hoc se usa para crear una red en malla, es decir una red multipunto a multipunto donde no hay ningún master. El modo Ad hoc también puede usarse para conectar dos laptops equipados con WiFi sin utilizar un AP. En el modo ad-hoc cada tarjeta inalámbrica se comunica directamente con sus vecinas.

Algunos fabricantes no implementan adecuadamente el modo ad-hoc con lo que la interoperabilidad puede verse comprometida.

2.5.4 MODO MONITOR

El modo Monitor se usa para escuchar pasivamente todo el tráfico en un canal dado. Es útil para:

- Analizar los problemas en un enlace inalámbrico.
- Observar el uso del espectro en una zona.
- Realizar tareas de mantenimiento y de seguridad

El modo monitor se usa en ciertas herramientas para escuchar pasivamente todo el tráfico que circula en un determinado canal.

Esto ayuda en el análisis de los problemas de una red y en la observación del uso local del espectro. El modo monitor no se usa para comunicaciones normales.

2.6 TECNOLOGIAS INALÁMBRICAS

Las principales redes inalámbricas que hacen uso de las ondas electromagnéticas, esta conexión es la que se usa en telefonía móvil, WiFi, Bluetooth, Wimax, etc. Cada tecnología inalámbrica o por radiofrecuencia, usa una frecuencia, así la telefonía móvil usa las bandas de 900, 1800 y 2100 MHz; WiFi usa las bandas de 2400 y 5000 MHz; Bluetooth la de 2400 MHz y Wimax la de 5000 MHz.

2.6.1 BLUETOOTH

Bluetooth es una especificación para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda de los 2,4 GHz. Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Eliminar los cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

2.6.2 HOME RF

La idea de este estándar se basa en el teléfono inalámbrico digital mejorado (Digital Enhanced Cordless Telephone, DECT). Los creadores de este estándar pretendían diseñar un aparato central en cada casa que conectara los teléfonos y además proporcionar un ancho de banda de datos entre las computadoras.

HomeRF transporta voz y datos por separado, al contrario que protocolos como WiFi que transporta la voz como una forma de datos. Trabaja a 2.4Ghz pero cuenta con un método de salto de frecuencia (SWAP) para no interferir con conexiones Bluetooth. Su alcance es de 50 metros aproximadamente. Cabe resaltar que el estándar HomeRF posee multitud de capacidades de voz (identificador de llamadas, llamadas en espera, regreso de llamadas e intercomunicación dentro del hogar).

2.6.3 ZIGBEE

Es una alianza sin ánimo de lucro de 25 empresas, la mayoría de ellas fabricantes de semiconductores, con la finalidad de promover el desarrollo e implantación de una tecnología inalámbrica bidireccional de bajo coste vía radio, para usarla en dispositivos de domótica, automatización de edificios (inmótica), control industrial, periféricos de PC o sensores médicos.

Los miembros de esta alianza justifican el desarrollo de este estándar para cubrir el vacío que se produce por debajo del Bluetooth. Tiene velocidades comprendidas entre 20Kbps y 250Kbps y rangos de 10 m a 75 m. Puede usar las bandas libres ISM de 2,4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EEUU). Una red ZigBee puede estar formada por hasta 255 nodos (frente a los 8 de Bluetooth), los cuales tienen la mayor parte del tiempo el transceiver dormido con objeto de consumir menos que otras tecnologías inalámbricas.

Los módulos ZigBee están pensados para ser los transmisores inalámbricos más baratos producidos de forma masiva. Con un coste estimado alrededor de los 2 euros dispondrán de una antena integrada, control de frecuencia y una pequeña batería (dos pilas AA).

2.6.4 WIFI

Por ser el sistema más extendido, llegando a ser un estándar de facto para redes inalámbricas, y por ser además la tecnología que nosotros emplearemos en la realización de este proyecto, dedicaremos el siguiente capítulo a describirlo con todo detalle. A modo de preámbulo incluimos esta tabla resumen con los principales estándares de la familia y sus principales características.

Estándar	Velocidad máxima	Frecuencia	Compatibilidad con versiones anteriores
802.11a	54 Mbps	5 GHz	No
802.11b	11 Mbps	2,4 GHz	No
802.11g	54 Mbps	2,4 GHz	802.11b
802.11n	600 Mbps	2,4 GHz o 5 GHz	802.11b/g
802.11ac	1,3 Gbps (1300 Mbps)	2,4 GHz y 5,5 GHz	802.11b/g/n
802.11ad	7 Gbps (7000 Mbps)	2,4 GHz, 5 GHz y 60 GHz	802.11b/g/n/ac

Tabla 6: Principales estándares de la familia IEEE 802.11
Fuente: www.ingenieriasystems.com/2016/11/LAN-inalambrica

2.6.5 WIMAX

La tecnología WIMAX (del inglés Worldwide Interoperability for Microwave Access, Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas) es un estándar de transmisión inalámbrica de datos (IEEE 802.16) que proporciona accesos concurrentes en áreas de hasta 50 km de radio (WMAN) sin necesidad de visión directa con las estaciones base.

Funciona por debajo de los 11 GHz y alcanza velocidades de hasta 70 Mbps.

Sus principales características son:

- Se obtiene mayor ancho de banda en distancias mayores (hasta 50 km) permitiendo por tanto mayores coberturas. Además no requiere de visión directa.

- Sistema escalable. El sistema está diseñado para que escale a varios cientos de usuarios cómodamente y además permite un uso flexible de frecuencias para poderse adaptar a cualquier tipo de legislación.
- Aporta mecanismos de QoS (Quality of Service).

La gran expectación que ha creado este estándar se debe a que permite hacer un despliegue de cobertura en zonas metropolitanas, como por ejemplo, ciudades.

2.6.6 WIBRO (WIRELESS BROADBAND TECHNOLOGY)

Es una tecnología de banda ancha inalámbrica de Internet desarrollada por la industria de telecomunicaciones coreana. Adapta TDD para duplexarse (separar transmisión y recepción), OFDMA para el acceso múltiple y 8.75MHz como ancho de banda del canal.

Esta tecnología fue ideada para superar la limitación de la velocidad del teléfono móvil y para agregar movilidad a Internet de banda ancha (por ejemplo, ADSL o LAN inalámbrica). Las estaciones de la base WiBro ofrecerán un rendimiento de procesamiento de datos agregado de 30 a 50 Mbps/s y cubrirán un radio de 1,5 km. Detalladamente, proporcionará la movilidad para los dispositivos móviles hasta 120 km/h, comparado al LAN inalámbrico cuya movilidad es la velocidad de una persona en movimiento y la del teléfono móvil que tiene movilidad de hasta 250 km/h.

La tecnología también ofrecerá la movilidad del servicio. La inclusión de QoS permite que WiBro soporte el contenido del video y otros datos de manera confiable. Todas éstas, pueden ser las ventajas más fuertes sobre el estándar de Wimax.

2.7 INTRODUCCIÓN AL WIFI

Las redes inalámbricas, y en especial tecnologías como WiFi, cuentan con características que facilitan esta posibilidad. Sin embargo, se requiere que los gobiernos no pongan trabas al uso de esta tecnología sino que generen mecanismos de regulación que permitan su implementación, manipulación y

aprovechamiento por parte de las comunidades, así como la adecuación de la normativa para que los servicios de telecomunicaciones ofrecidos a través de esta infraestructura puedan ser suministrados por prestadores no tradicionales (cooperativas, consorcios comunitarios, asociaciones civiles o grupos vecinales, etc.), allanando en estos casos los requisitos legales necesarios.

Las redes inalámbricas en zonas rurales son redes que permiten el acceso inalámbrico a diferentes tipos de recursos y servicios disponibles ya sea en internet o en una red local, y que se caracterizan por ser diseñadas e implementadas esperando contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades. En este punto se puede entender la importancia de que la comunidad sea parte activa del proceso mismo de concepción, implementación y mantenimiento de la red.

La gran mayoría de las redes inalámbricas en lugares alejados utilizan tecnología WiFi. Esta tecnología está definida en la familia de estándares inalámbricos 802.11 del IEEE, siendo las más representativas las enmiendas 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11e y la 802.11n, que aún no ha sido aprobada definitivamente pero de la cual ya existen versiones comerciales.

Esta familia de estándares trabaja en las bandas de radiofrecuencia de 2.4GHz y 5GHz asignadas por la UIT para redes inalámbricas como uso secundario. En esta banda trabajan también los hornos de microondas domésticos y muchos otros dispositivos industriales que no requieren de licencia por parte de los entes reguladores del espectro. Sin embargo, estas frecuencias también han sido utilizadas para diferentes servicios de comunicaciones como teléfonos inalámbricos, intercomunicadores, transmisión de video y audio a corta distancia, etc. Por este motivo se debe tomar en cuenta los otros usuarios de esta porción del espectro en un espacio físico determinado y establecer límites en los niveles de potencia máximos utilizables, para evitar interferencias con otras redes.

2.7.1 HISTORIA

En 1888 el físico alemán Rudolf Hertz realizó la primera transmisión sin cables con ondas electromagnéticas mediante un oscilador que usó como emisor y un

resonador que hacía de receptor. Seis años después, las ondas de radio ya eran un medio de comunicación, poco después una industria clave en el mundo del marketing y las comunicaciones que sigue viva a día de hoy.

En 1899 Marconi estableció las primeras comunicaciones inalámbricas a través del canal de la Mancha. En 1907, se transmitieron los primeros mensajes completos que cruzaron el Atlántico. En 1971 la Universidad de Hawaii, creó el primer sistema de conmutación de paquetes mediante una red de comunicación por radio, (ALOHA). Fue la primera red local inalámbrica (WLAN), y estaba formada por 7 ordenadores situados en distintas islas que se podían comunicar con un ordenador central.

Convivimos con tecnologías inalámbricas de comunicaciones desde principios de los 90, aunque los inicios fueron muy desordenados, ya que cada fabricante desarrollaba sus propios modelos, incompatibles con los demás. Podríamos encontrar un símil muy claro entre el mundo de las aplicaciones móviles nativas, que todavía a día de hoy no trabajan bajo un estándar universal, teniendo que adaptar cada App a distintos lenguajes y sistemas operativos.

A finales de los 90 empresas como, Nokia o Symbol Technologies crearon la WECA (Wireless Ethernet Compatibility), que en 2003 pasó a llamarse WiFi Alliance, cuyo objetivo era el fomento de la tecnología WiFi y la creación de unos estándares para que los equipos fueran compatibles entre sí.

2.7.2 FUNCIONAMIENTO Y EVOLUCIÓN

Cuando conectamos nuestro smartphone a una red WiFi para poder navegar por Internet nos estamos conectando a un router físicamente conectado a internet mediante un cable, este router transforma la información digital binaria (unos y ceros) en ondas de radio que son transmitidas a lo largo de un área y que son captadas por decodificadores que tienen nuestro smartphone, dichos decodificadores vuelven a transformar las ondas de radio en información digital inicial la cual es interpretada por el microprocesador y el software alojado en nuestro smartphone..

Principalmente la tecnología WiFi se aplica como medio para conectar a Internet diversos dispositivos electrónicos como smartphones, tablets u ordenadores, permitiendo compartir una sola conexión con múltiples dispositivos, millones de hogares, cafeterías, hoteles, aeropuertos y universidades de todo el mundo han estado utilizando esta tecnología como medio de acceso a la Red.

WiFi describe los productos de WLAN basados en los estándares 802.11 y está pensado en forma más “Amigable” que la presentación eminentemente técnica que ofrece IEEE.

El estándar 802.11 de IEEE se publica en junio 1997, luego de seis años de proceso de creación. Propone velocidades de 1 y 2Mbps y un rudimentario sistema de cifrado (el WEP: Wired Equivalent Privacy), opera en 2,4 GHz con RF e IR. Aunque WEP aún se sigue empleando, ha sido totalmente desacreditado como protocolos seguro.

En septiembre de 1999 salen a la luz el estándar 802.11b que ofrece 11Mbps y el 802.11a que ofrece 54 Mbps, si bien los productos de la primera aparecieron en el mercado mucho antes. Algunos fabricantes ofrece velocidades de 72 e incluso 108 Mbps. Estos procesos, lo logran mediante la “Vinculación de canales”, es decir, dos canales son multiplexados juntos empleando el total de velocidad de la suma de ambos. Esto si bien es favorable aparentemente, tiene las desventajas de no respetar el estándar y de sacrificar la mitad de los canales de 802.11a.

2.7.3 ESTANDAR 802.11

La familia IEEE 802.11 constituye una serie de especificaciones para la tecnología de redes inalámbricas (WLAN). Estas especificaciones están orientadas a nivel de la capa física y la subcapa MAC del modelo OSI, para adaptarlas a los requerimientos especiales de las WLAN pero ofreciendo la misma interfaz para capas superiores, manteniendo así la interoperabilidad.

La primera versión del estándar 802.11 fue aprobado en 1997 por la IEEE tras varios años de desarrollo y en la que se definían 3 opciones para la capa física (PHY): infrarrojo, FHSS y DSSS, soportando tasas de datos de 1 y 2 Mbps en la banda de 2,4 GHz.

En la Tabla 7, se muestran algunas características a nivel de la capa física de los estándares propuestos en la tecnología. En ella podemos destacar las diferencias de las tasas de datos soportadas, las cuales han ido en aumento hasta llegar a los 600 Mbps con el estándar 802.11n.

	802.11	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n
Tecnología PHY	DSSS	DSSS/CKK	OFDM	OFDM DSSS/CKK	SDM/OFDM
Tasa de datos	1, 2 Mbps	5.5, 11 Mbps	6 - 54 Mbps	1 – 54 Mbps	6 – 600 Mbps
Banda de frecuencia	2,4 Ghz	2,4 Ghz	5 Ghz	2,4 Ghz	2,4 y 5 Ghz
Ancho de canal	25 Mhz	25 Mhz	20 Mhz	25 Mhz	20 y 40 Mhz

Tabla 7: Resumen de PHYs IEEE 802.11

Fuente: Evaluación de la tecnología IEEE 802.11n con la plataforma OPNET

2.8 ASPECTOS TÉCNICOS - IEEE 802.11

El estándar 802.11 para redes WLAN inalámbricas incluye una serie de enmiendas. Lo anteriormente contemplan principalmente las técnicas de modulación, gama de frecuencia y la calidad del servicio (QoS). Como todos los estándares 802 del IEEE, el IEEE 802.11 cubre las primeras dos capas del modelo de OSI (Open Systems Interconnection), es decir la capa física (L1) y la capa de enlace (L2).

Capa de enlace de datos (MAC)	802.2			
	802.11			
Capa física (PHY)	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>DSSS</td> <td>FHSS</td> <td>Infrarrojo</td> </tr> </tbody> </table>	DSSS	FHSS	Infrarrojo
DSSS	FHSS	Infrarrojo		

Figura 10: Capa OSI Cubiertas por el estándar 802.11

Fuente: <http://informatica-redes1.blogspot.com/2014/11/estandar-ieee.html>

La sección siguiente describirá lo que implica cada una de esas capas en términos de estándares inalámbricos.

2.8.1 CAPA 1 (802.11 PHY)

La capa física tiene como finalidad transportar correctamente la señal que corresponde a 0 y 1 de los datos que el transmisor desea enviar al receptor. Esta capa se encarga principalmente de la modulación y codificación de los datos.

2.8.1.1 TÉCNICAS DE MODULACIÓN

Un aspecto importante que influencia la transferencia de datos es la técnica de modulación elegida. A medida que los datos se codifican más eficientemente, se logran tasas o flujos de bits mayores dentro del mismo ancho de banda, pero se requiere hardware más sofisticado para manejar la modulación y la demodulación de los datos.

La idea básica detrás de las diversas técnicas de modulación usadas en IEEE 802.11 es utilizar más ancho de banda del mínimo necesario para mandar un "bit" a fin de conseguir protección contra la interferencia. La manera de esparcir la información conduce a diversas técnicas de modulación. Las más comunes de estas técnicas se presentan abajo.

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum-espectro esparcido por salto de frecuencia)

FHSS se basa en el concepto de transmitir sobre una frecuencia por un tiempo determinado, después aleatoriamente saltar a otra, ej.: La frecuencia portadora cambia durante el tiempo o el transmisor cambia periódicamente la frecuencia según una secuencia preestablecida.

El transmisor envía al receptor señales de sincronización que contienen la secuencia y la duración de los saltos. En el estándar IEEE 802.11 se utiliza la banda de frecuencia (ISM) que va de los 2,400 hasta los 2,4835 GHz, la cual es dividida en 79 canales de 1 MHz y el salto se hace cada 300 a 400 ms. Los saltos se hacen alrededor de una frecuencia central que corresponde a uno de los 14 canales definidos. Este tipo de modulación no es común en los productos actuales.

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum-espectro esparcido por secuencia directa)

El DSSS implica que para cada bit de datos, una secuencia de bits (llamada secuencia pseudoaleatoria, identificada en inglés como PN) debe ser transmitida. Cada bit correspondiente a un 1 es substituido por una secuencia de bits específica y el bit igual a 0 es substituido por su complemento. El estándar de la capa física 802.11 define una secuencia de 11 bits (10110111000) para representar un "1" y su complemento (01001000111) para representar un "0". En DSSS, en lugar de esparcir los datos en diferentes frecuencias, cada bit se codifica en una secuencia de impulsos más cortos, llamados chips, de manera que los 11 chips en que se ha dividido cada bit original ocupan el mismo intervalo de tiempo. Esta técnica de modulación ha sido común desde el año 1999 al 2005.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing-modulación por división de frecuencias ortogonales)

OFDM, algunas veces llamada modulación multitono discreta (DMT) es una técnica de modulación basada en la idea de la multiplexación de división de frecuencia (FDM). FDM, que se utiliza en radio y TV, se basa en el concepto de enviar múltiples señales simultáneamente pero en diversas frecuencias.

En OFDM, un sólo transmisor transmite en muchas (de docenas a millares) frecuencias ortogonales. El término ortogonal se refiere al establecimiento de una relación de fase específica entre las diferentes frecuencias para minimizar la interferencia entre ellas.

Una señal OFDM es la suma de un número de subportadoras ortogonales, donde cada subportadora se modula independientemente usando QAM (modulación de fase y amplitud) o PSK (modulación de fase). Esta técnica de modulación es la más común a partir del 2005.

2.8.1.2 FRECUENCIA

Los estándares 802.11b y la 802.11g usan la banda de los 2,4 GHz ISM (Industrial, Científica y Médica) definida por la UIT. Los límites exactos de esta banda dependen de las regulaciones de cada país, pero el intervalo más comúnmente aceptado es de 2.400 a 2. 483,5 MHz.

El estándar 802.11a usa la banda de los 5 GHz UNII (Unlicensed-National Information Infrastructure) cubriendo 5.15-5.35 GHz y 5.725-5.825 GHz en EEUU. En otros países la banda permitida varía, aunque la UIT ha instado a todos los países para que vayan autorizando la utilización de todas estas gamas de frecuencias para redes inalámbricas.

La banda sin licencia de los 2.4 GHz se volvió últimamente muy “ruidosa” en áreas urbanas, debido a la alta penetración de las WLAN y otros dispositivos que utilizan el mismo rango de frecuencia, tal como hornos de microondas, teléfonos inalámbricos y dispositivos Bluetooth.

La banda de los 5 GHz tiene la ventaja de tener menos interferencia, pero presenta otros problemas debido a su naturaleza.

Las ondas de alta frecuencia son más sensibles a la absorción que las ondas de baja frecuencia. Las ondas en el rango de los 5 GHz son especialmente sensibles al agua, a los edificios circundantes u otros objetos, debido a la alta absorción en este rango. Esto significa que una red 802.11a es más restrictiva en cuanto a la línea de la vista y se requieren más puntos de acceso para cubrir la misma área que una red 802.11b. Para la misma potencia de transmisión las celdas resultantes son más pequeñas.

2.8.2 CAPA 2 (802.11 MAC)

La capa de transmisión de datos de 802.11, se compone de dos partes:

1. Control de acceso al medio (MAC)
2. Control lógico del enlace (LLC)

La subcapa LLC de 802.11 es idéntica a la de 802.2 permitiendo una compatibilidad con cualquier otra red 802, mientras que la subcapa MAC presenta cambios sustanciales para adecuarla al medio inalámbrico.

La subcapa MAC (L2) es común para varios de los estándares 802.11, y sustituye al estándar 802.3 (CSMA/CD – Ethernet) utilizado en redes cableadas, con funcionalidades específicas para radio (los errores de transmisión son más frecuentes que en los medios de cobre), como fragmentación, control de error

(CRC-Cyclic Redundancy Check), las retransmisiones de tramas y acuse de recibo, que en las redes cableadas son responsabilidad de las capas superiores.

2.8.2.1 MÉTODO DE ACCESO AL MEDIO

El protocolo de acceso al medio en redes Ethernet cableadas es el CSMA/CD, basado en la detección de colisiones y la subsiguiente retransmisión cuando éstas ocurren. En redes inalámbricas que utilizan la misma frecuencia para transmitir y recibir, es imposible detectar las colisiones en el medio, por lo que el mecanismo de compartición del medio se modifica tratando de limitar las colisiones y usando acuse de recibo (ACK) para indicar la recepción exitosa de una trama. Si el transmisor no recibe el ACK dentro de un tiempo preestablecido, supone que la transmisión no fue exitosa y la reenvía. Este protocolo se conoce como CSMA/CA, donde CA se refiere a "Collision Avoidance", es decir, tratar de evitar las colisiones. Este método no es tan eficiente como el CSMA/CD porque hay que esperar el ACK antes de poder continuar utilizando el canal, y el mismo ACK consume tiempo de transmisión.

Además, para transmisión a grandes distancias el tiempo de espera por el ACK puede ser significativo debido a que las ondas de radio tardan 2 ms en ir y volver a una distancia de 300 km. Esencialmente, CSMA/CA utiliza unos tiempos de espera obligatorios de longitud variable entre tramas sucesivas para evitar las colisiones. Estos tiempos se denominan espaciamiento entre tramas, "Interframe Spacing", y su valor depende del estado previo del canal. Opcionalmente también se pueden utilizar mecanismos de reserva del canal, en una técnica conocida como RTS/CTS (Ready to Send/Clear to Send) que garantiza el acceso al medio a expensas de tiempos de transmisión aún más largos.

El acceso al medio es controlado por el uso de diversos tipos de interframe spaces (IFS) o espacio entre tramas, que corresponde a los intervalos de tiempo que una estación necesita esperar antes de enviar datos. Los datos prioritarios como paquetes de ACKs o de RTS/CTS esperarán un período más corto (SIFS) que el tráfico normal.

Por estos motivos nunca se puede lograr que el 802.11b tenga un rendimiento tan bueno como el CSMA/CD o tecnologías basadas en TDMA (Time division Multiple Access -Acceso Múltiple por División de Tiempo). Para más información, vea la unidad “redes inalámbricas avanzadas”.

2.9 ENMIENDAS DE IEEE 802.11

Las enmiendas más aceptadas de la familia de IEEE 802.11 son actualmente las b, a, y g. Todas ellas han alcanzado los mercados masivos con productos de costo accesibles. Otras enmiendas son, n y s que son correcciones, actualizaciones o extensiones de las anteriores. Describiremos un poco las b, a, g, s y n en esta sección.

2.9.1 IEEE 802.11b

El estándar IEEE 802.11b fue ratificado el año 1999, basándose en la técnica DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) e introduciendo el esquema de codificación CCK (Complementary Code Keying).

La velocidad de transmisión máxima es de 11Mbps, utilizando el mismo método de acceso CSMA/CA definido en el estándar original. Trabaja en la banda ISM de 2,4 Ghz.

2.9.2 IEEE 802.11a

El estándar IEEE 802.11a también fue aprobado en el año 1999, aunque los productos de esta tecnología salieron más tarde que los del 802.11b, debido a que su realización fue más complicada.

Está basada en OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), tecnología que explicaremos con mayor detalle en siguientes capítulos, ya que es utilizada también en la capa física del estándar 802.11n.

La tecnología permite conseguir velocidades de transmisión hasta los 54Mbps en la banda de 5Ghz. El hecho de operar en una banda diferente que el estándar 802.11b, provoca que los productos de dichas tecnologías no sean compatibles entre sí.

2.9.3 IEEE 802.11g

El estándar IEEE 802.11g fue lanzado el año 2003, combinando las ventajas de los dos estándares anteriores, permitiendo alcanzar velocidades de hasta 54 Mbps. Esta tecnología es compatible con 802.11b y 802.11a, ya que permite soportar tanto OFDM como DSSS. Trabaja en la banda de 2,4 Ghz.

2.9.4 IEEE 802.11n

El éxito comercial del estándar 802.11g impulsó enormemente el uso de WiFi y la necesidad de ampliar las demandas sobre la tecnología. De esta forma, se continuó desarrollando y en el año 2002 se empezó a definir algunas mejoras a nivel PHY/MAC que formarían parte del hoy nuevo estándar 802.11n.

El estándar 802.11n fue ratificado por la organización IEEE el 11 de septiembre de 2009, operando en las bandas de 2.4 y 5 GHz, aunque se espera que opere preferentemente en la segunda debido a que la primera está más ocupada.

Este estándar incorpora un ancho de banda de los canales de 40MHz, la tecnología MIMO, además de otras mejoras a nivel físico y MAC.

2.9.5 IEEE 802.11s

IEEE 802.11s es el estándar en desarrollo para redes WiFi malladas, también conocidas como redes Mesh. La malla es una topología de red en la que cada nodo está conectado a uno o más nodos. De esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos.

Según la normativa 802.11 actual, una infraestructura WiFi compleja se interconecta usando LANs fijas de tipo Ethernet. 802.11s pretende responder a la fuerte demanda de infraestructuras WLAN móviles con un protocolo para la autoconfiguración de rutas entre puntos de acceso mediante topologías multisalto. Dicha topología constituirá un WDS (Wireless Distribution System) que deberá soportar tráfico unicast, multicast y broadcast. Para ello se realizarán modificaciones en las capas

2.10 ESTUDIO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11n

La meta del trabajo sobre 802.11n es la de incrementar el throughput efectivo de los dispositivos 802.11. Y para aumentarla se requiere más que suministrar una tasa superior de bits. La velocidad de transmisión de las redes inalámbricas es afectada por muchas fuentes de sobrecarga. Hay aspectos del estándar 802.11 que constituyen un “overhead (sobrecarga)” para el protocolo. Mucha de esta sobrecarga no puede ser reducida o eliminada. El efecto es que, sin recurrir a otros métodos, hay un límite superior en el throughput efectivo.

802.11n es mucho más que una nueva radio para 802.11. Además de proporcionar mayores velocidades de bits (como se hizo con 802.11a, b, g).

En este apartado realizaremos el estudio del nuevo estándar 802.11n. Para ello, describiremos las mejoras propuestas a nivel de la capa física y MAC que le permiten alcanzar altas tasas de datos.



Figura 11: Ventajas del Estándar 802.11n

Fuente: <https://www.nobbot.com/tecnologia/mi-conexion>

Antes de entrar en próximos apartados al estudio detallado de las mejoras del estándar IEEE 802.11n a nivel, describiremos brevemente las características más relevantes que nos permiten conseguir tasas elevadas de datos, entre otras muchas más innovaciones.

- **Tasas de datos superiores a nivel físico**

Las tasas de datos en 802.11n son significativamente mejores sobre las conseguidas por 802.11a y 802.11g, fundamentalmente por el uso de la multiplexación espacial (MIMO) y el uso de canales de 40 MHz.

Además de estas mejoras, también se incluyen mejoras opcionales que incluyen el uso de intervalo de guarda más pequeño, el cual puede ser utilizado bajo ciertas condiciones de canal; y un nuevo formato de preámbulo llamado preámbulo Greenfield.

- **Mejora de la eficiencia a nivel MAC**

Esta eficiencia se logra gracias a la implementación de la agregación de paquetes y mejoras en el protocolo de Block Ack (detallado en el estándar 802.11e)

También se incluyen mejoras como el protocolo de dirección inversa que proporciona una mejora de rendimiento bajo ciertos tipos tráficos y la utilización de un espacio inter-trama más pequeño (RIFS)

- **Robustez**

Esta mejora se consigue inherentemente mediante el incremento de la diversidad espacial dado por la utilización de múltiples antenas. Otras opciones que nos brindan robustez son el uso de la codificación STBC (Space-Time Block Coding) y un nuevo código de canal LDPC (Low Density Parity Code), entre otros más.

Finalmente, debido al gran crecimiento de la utilización de dispositivos móviles, se introduce una nueva técnica de acceso al canal llamado PSMP (Power-Save Multi-Poll), la cual permite soportar eficientemente un mayor número de estaciones.

2.10.1 CAPA FÍSICA

2.10.1.1 OFDM

La capa física del estándar 802.11n se desarrolló basándose en la estructura de la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) de 802.11a.

Esta elección se hizo ya que OFDM es mucho más adecuada para entornos de fading ante posibles interferencias, debido a que modula el conjunto de datos en las diferentes subportadoras y por tanto sólo se verían afectadas algunas

subportadoras, las cuales luego pueden ser recuperadas mediante algún método de corrección de errores.

En la Fig.12 se muestra una comparación ilustrativa entre ambos tipos de multiplexaciones. Además, la utilización de OFDM resulta imprescindible si tenemos en cuenta que es tolerante con los errores de sincronización de tiempo, muy común en sistemas de intercambio elevadas tasas de datos.

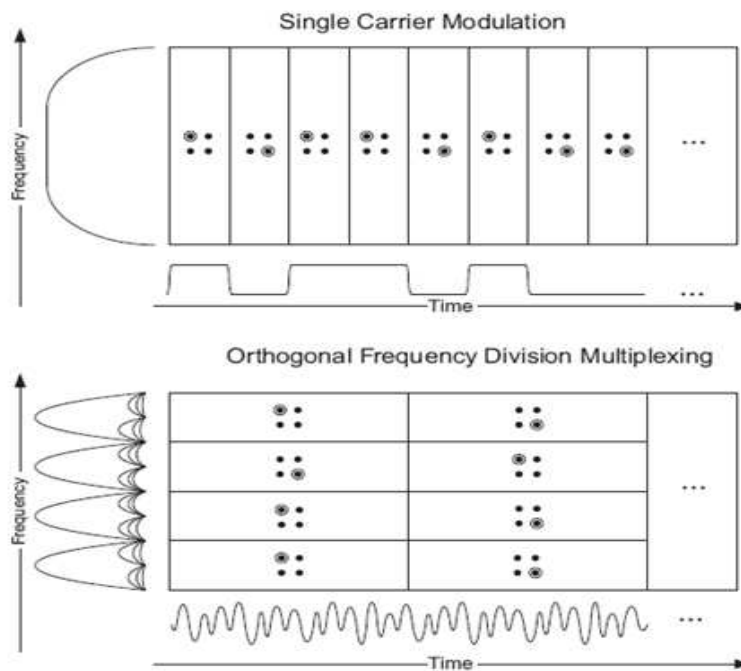


Figura 12: Comparación entre las modulaciones: portadora única y OFDM
Fuente: Redes de Área Local Inalámbricas: Diseño de la WLAN

Para 802.11a, el tiempo de símbolo es de 4ms (incluyendo los 800ns de intervalo de guarda). Por tanto, para 54 Mbps cada uno de estos símbolos lleva 216 bits de información y 72 bits de corrección de errores repartidos dentro de las 48 subportadoras de datos disponibles.

En 802.11n, se mantiene estos 4ms de tiempo de símbolo pero el número de subportadoras para cada canal de 20 MHz aumenta a 52, incrementando la tasa de datos máxima de 54 a 65 Mbps para una transmisión radio.

Dado que 802.11n también permite la utilización de hasta 8 tasas de transmisión distintas y un número de transmisores a 4, tenemos hasta 32 tasas de datos disponibles. Como explicaremos en próximos apartados, utilizando canales de 40 MHz aumentamos el número de subportadoras a 108.

2.10.1.2 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)

MIMO representa el corazón del estándar 802.11n, ya que fundamentalmente a través de esta técnica se logran velocidades de hasta 600 Mbps.

Tradicionalmente, en las comunicaciones radio se utilizaba un sistema SISO (Single-Input Single-Output) en las que tanto el transmisor como el receptor estaban configuradas con una antena.

En este tipo de sistemas, la cantidad de información que puede ser transportada depende de la cantidad de potencia de señal que excede el ruido en el receptor (SNR). Mientras mayor sea el valor de SNR, mayor será la cantidad de información que podrá llevar la señal y podrá recuperar el receptor.

MIMO describe un sistema compuesto por un transmisor con múltiples antenas que transmite a un receptor el cual también está provisto de múltiples antenas. Este sistema aprovecha fenómenos físicos en la transmisión como la propagación multicamino para incrementar la tasa de transmisión y reducir considerablemente la tasa de transmisión (contraproducentes en un sistema SISO convencional).

2.10.1.3 ANTECEDENTES DE MIMO

2.10.1.3.1 DIVERSIDAD

Hablamos de diversidad cuando tenemos múltiples copias de la señal transmitida, y según dónde se produzca esta diversidad, distinguimos las siguientes clases:

- Diversidad en el tiempo, cuando transmitimos varias versiones de la misma señal en instantes diferentes.
- Diversidad en la frecuencia, cuando la señal es transmitida usando distintos canales de frecuencia. Un ejemplo sería OFDM o las técnicas de espectro expandido, ambas explicadas en el capítulo anterior.

- Diversidad en el espacio, cuando se utilizan caminos de propagación diferentes para transmitir la señal. En comunicaciones inalámbricas esto se consigue mediante diversidad de antenas, es decir, usando varias antenas transmisoras (diversidad en transmisión) y/o varias antenas receptoras (diversidad en recepción).
- Diversidad de polarización, cuando múltiples copias de la señal son transmitidas con polarizaciones distintas.
- Diversidad de usuarios, cuando el transmisor elige el mejor usuario entre varios candidatos de acuerdo con la calidad existente en cada canal.

Nosotros nos centraremos en la diversidad espacial a través de la diversidad de antenas. Según el número de antenas que encontramos en ambos extremos de la comunicación podemos distinguir los siguientes sistemas, los cuales podemos considerar puntos de partida de la tecnología MIMO:

- **SISO (Single Input, Single Output):** sistema de comunicaciones que utiliza una sola antena transmisora y una sola antena receptora.
- **MISO (Multiple Input, Single Output):** sistema de comunicaciones que utiliza dos o más antenas transmisoras pero sólo una antena receptora. También se le conoce como diversidad en transmisión.
- **SIMO (Single Input, Multiple Output):** sistema de comunicaciones que utiliza una sola antena de emisión y dos o más antenas receptoras. Se le conoce como diversidad en recepción.

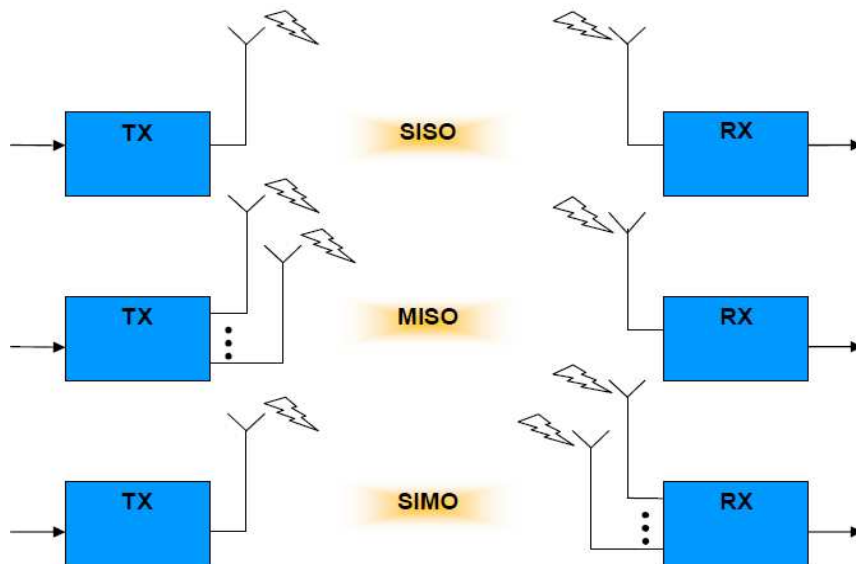


Figura 13: Diagramas de los sistemas SISO, MISO y SIMO respectivamente
Fuente: Redes de Área Local Inalámbricas: Diseño de la WLAN

Atendiendo a esta clasificación MIMO representará entonces un sistema de comunicaciones que utiliza dos o más antenas en el extremo transmisor, y dos o más antenas en el extremo receptor. Es decir, utilizará diversidad en el espacio a través del uso de varias antenas tanto en transmisión como en recepción.

Pero podríamos definir MIMO como un caso corriente de diversidad espacial o implicaría algo más. Efectivamente MIMO implica algo más que diversidad de antenas, pero esto lo explicaremos más adelante. Ahora veamos una breve reseña histórica acerca de esta tecnología.

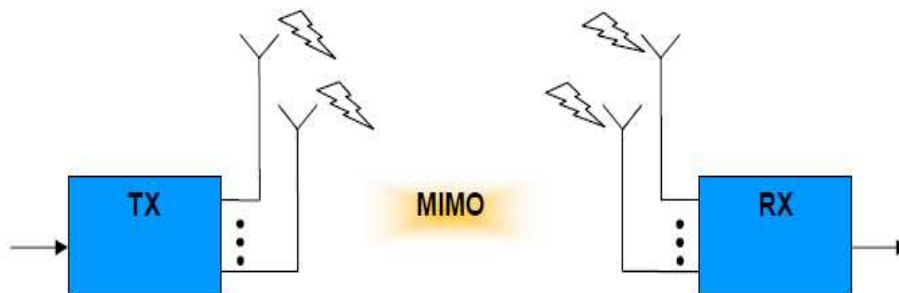


Figura 14: Diagrama Básico de un sistema MIMO
Fuente: Redes de Área Local Inalámbricas: Diseño de la WLAN

2.10.1.4 HISTORIA DE MIMO

Estos casos de diversidad espacial en transmisión o recepción no son fenómenos pioneros en las radiocomunicaciones. Ya Marconi en el año 1901 probó con éxito transmitir la letra “S” del código Morse desde Inglaterra hasta Signal Hill, (St. John, Terranova, Canadá), a casi 4000Km de distancia, utilizando cuatro antenas transmisoras desde cuatro torres de 60 metros de altura cada una. También podemos encontrar ejemplos de diversidad desde 1910 en sonar submarinos y sensores acústicos, o desde 1940 en los sistemas de radar.

Pero las primeras ideas acerca de MIMO como tal aparecen al principio de la década de los 70. La evolución desde entonces hasta nuestros días la resumimos en la siguiente tabla.

Fecha	Evento
Años 1970	A. R. Kaye, D. A. George y W. Van Etten realizan las primeras investigaciones
1984-1986	Los laboratorios Bell, por medio de Jack Winters y Jacks Salz, publicaron numerosos artículos acerca de aplicaciones que podría ser útil el “beamforming” o conformación de los haces de antena.
1994	A. Paulraj y T. Kailath, profesores de la Universidad de Stanford (California EEUU), propusieron el concepto de “Multiplexacion Espacial” y destacaron sus numerosas aplicaciones en comunicaciones inalámbricas. La Universidad Stanford patento la “Spacial Multiplexing”.
1996	Rayleigh y Foschini de los laboratorios Bell, comprobaron que la propagación Multicamino podría ser muy beneficiosa en una configuración con múltiples antenas.
1998	Los laboratorios Bell, crearon el primer prototipo de multiplexacion espacial, técnica clave para el desarrollo de sistemas de comunicación MIMO.
2001	lospan Wireless Inc. desarrollo el primer sistema comercial que usaba la tecnología MIMO – OFDMA.
2003	Airgo Networks desarrollo el primer prototipo de chip MIMO, con un DSP para el procesado digital de señales.
2006	Compañías como Cisco, Netgear, Belkin o Intel empiezan a fabricar para dispositivos WLANs que aportan una solución MIMO-OFDM, denominada 802.11 pre-N, basada en el futuro estándar IEEE 802.11n. Numerosas compañías desarrollan soluciones MIMO-OFDMA para Wimax Mobile (802.16e) .
2008	Año previsto para la publicación del definitivo estándar IEEE 802.11n, el cual se basara en la tecnología MIMO.

Tabla 8: Evolución de MIMO

Fuente: Redes de Área Local Inalámbricas: Diseño de la WLAN

2.10.1.5 DEFINICIÓN DE MIMO

Quizás éste sea el apartado más “conflictivo” del capítulo, ya que ha sido muy difícil encontrar una definición precisa de MIMO. Y es que no todos los fabricantes que afirman vender MIMO venden MIMO. La mayoría hacen un mal uso del término creando confusión y ambigüedad, por lo que será fácil “caer en la trampa” y dar la definición de una tecnología “pseudo MIMO” en vez de la verdadera tecnología.

Tal y como es definido y entendido por la mayoría de ingenieros, investigadores, académicos y estudiosos del tema, MIMO o Multiple Input Multiple Output es una tecnología que se refiere específicamente al uso de múltiples señales que viajan simultáneamente y a la misma frecuencia por un solo canal de radiofrecuencia, y que aprovecha la propagación multicamino, para incrementar la eficiencia espectral de nuestro sistema de comunicaciones inalámbrico. Esto lo consigue a través del uso de diversidad de antenas, distintas técnicas y complejos algoritmos de tratamiento digital de señales en ambos extremos del enlace: extremo transmisor (múltiple entrada) y extremo receptor (múltiple salida).

Esta definición del término es la que creemos más adecuada ya que se apoya en numerosos artículos de investigación, publicaciones, libros y conferencias de diferentes expertos en la materia.

Antes del desarrollo de MIMO, los sistemas de comunicaciones inalámbricos veían en la propagación multicamino un gran inconveniente que debía de ser solventado, pero MIMO es la primera tecnología que trata el multicamino como una característica inherente a nuestro sistema que hay que aprovechar para poder multiplicar su capacidad. Esto nos permitirá incrementar extraordinariamente la velocidad, el caudal efectivo, el rango, la capacidad y la fiabilidad de nuestro sistema y todo esto sin un incremento del ancho de banda o de la potencia transmitida. Por ejemplo, dispositivos de WLAN que implementan MIMO han demostrado en tests de laboratorio su capacidad de cubrir áreas de cobertura al menos dos veces más grandes que la que cubren dispositivos convencionales, aumentando también la velocidad y disminuyendo la probabilidad de error.

En resumen, MIMO aumenta la eficiencia espectral de un sistema de comunicación inalámbrica por medio de la utilización de técnicas de diversidad espacial y de complejos algoritmos de procesamiento digital de señales.

2.10.1.6 DIFERENCIAS CON UN SISTEMA “SMART ANTENA” TÍPICO Y WIFE

“Smart Antenna” (o Adaptive Array Antenna) es una tecnología aplicada a las comunicaciones inalámbricas que consiste en usar varias antenas espacialmente distribuidas (diversidad espacial, diversidad de antena) y/o algoritmos de tratamiento digital de señales. Estos últimos son usados para identificar marcas espaciales en las señales como la dirección de llegada (DOA o Direction Of Arrival), o para calcular el patrón de radiación de la antena (beamforming o conformado de haz). El adjetivo “smart” significa elegante y hace referencia a los algoritmos de procesamiento de señales que usan, no al aspecto físico de la propia antena en sí. Destacar que hay diferentes niveles de “elegancia” según los algoritmos empleados.

A primera vista, parece que MIMO y “smart antenna” son similares basándonos en la definición dada. Ambas usan varias antenas y algoritmos de tratamiento digital de señales. Entonces ¿Cómo difieren? Podríamos decir que MIMO es un tipo extendido de sistemas smart antenna. Expliquémoslo con detalle.

La primera diferencia radica en cómo se comportan ante la propagación multicamino. Los sistemas radio unidimensionales tradicionales normalmente siguen dos estrategias para tratarla. La primera es simplemente ignorarla, en cuyo caso se está desperdiciando la energía contenida en las señales multicamino. Esta energía puede ser demasiado grande como para ignorarla y puede causar degradaciones del rendimiento de nuestro sistema.

La segunda es emplear técnicas de mitigación del desvanecimiento multicamino. Algunas de las técnicas más convencionales son el beamforming o la diversidad. Beamforming puede aportarnos mayor alcance en ciertas aplicaciones pero no resuelve problemas como la reducción del número de usuarios soportados y la limitación del número de canales disponibles debido al consumo de energía. En

soluciones de diversidad en recepción podemos conmutar entre las distintas antenas receptoras para capturar la señal más potente, mejorando así la fiabilidad. Igualmente, con la combinación en recepción se pueden procesar las señales provenientes desde múltiples antenas para acomodar los efectos del desvanecimiento.

De todas formas, cualquiera que sea la técnica de mitigación empleada, smart antenna (al igual que los sistemas de radio convencionales) asume que la propagación multicamino es perjudicial, e intenta minimizar su daño.

MIMO, en cambio, aprovecha la propagación multicamino para incrementar el throughput, el alcance y la fiabilidad. Más que combatirla, la utiliza para llevar más información. El cómo lo hace lo veremos en el apartado de Cómo funciona MIMO.

La segunda diferencia sustancial entre ambos es la multidimensionalidad. Los sistemas convencionales y smart antenna representan sistemas unidimensionales, mientras que MIMO representa un innovador sistema de comunicación multidimensional, única manera de mejorar los tres parámetros básicos de rendimiento de un radio enlace: alcance, velocidad y fiabilidad. Cuando decimos multidimensional nos referimos al envío de varias señales de datos al mismo tiempo y por el mismo radiocanal. Lo entenderemos mejor con las siguientes imágenes.

En la figura 15, hemos representado un sistema con dos antenas en transmisión y una en recepción (sistema MISO), que además utiliza diversidad y la técnica de beamforming para dirigir el haz de la antena hacia el mejor camino de la ruta multicamino (para ello es conocer previamente el canal radio).

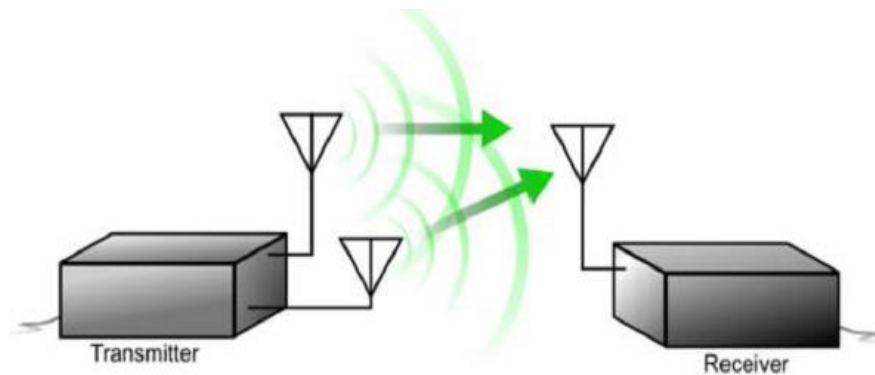


Figura 15: Sistema MISO: diversidad en transmisión y beamforming
Fuente: [bibing.us.es/ Capitulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf](http://bibing.us.es/Capitulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf)

En la siguiente ilustración hemos representado un sistema con diversidad en recepción para capturar la señal más fuerte resultante de la propagación multicamino.

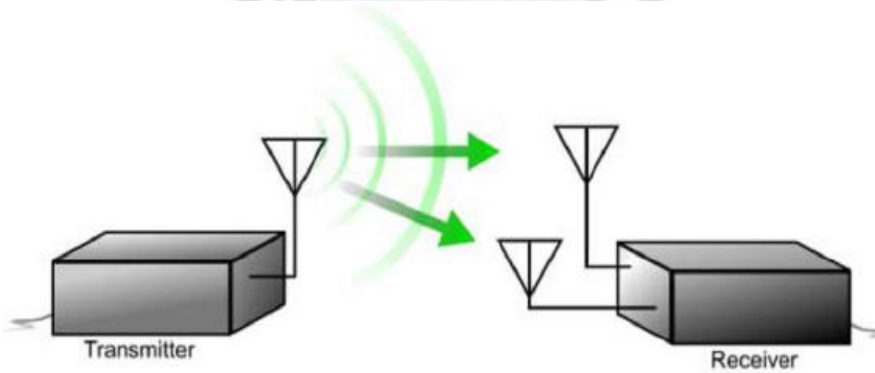


Figura 16: Sistema SIMO: diversidad en recepción
Fuente: [bibing.us.es/ Capitulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf](http://bibing.us.es/Capitulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf)

La figura 17, muestra lo que podría ser un típico sistema smart antenna que utiliza varias antenas en transmisión, varias en recepción y beamforming.

Notemos que, a pesar de las distintas técnicas usadas, sólo una señal es enviada por el canal. A esto nos referíamos cuando hablábamos de sistema unidimensional, y es por esto que no se incrementaría la tasa de bits o la capacidad de nuestro sistema.

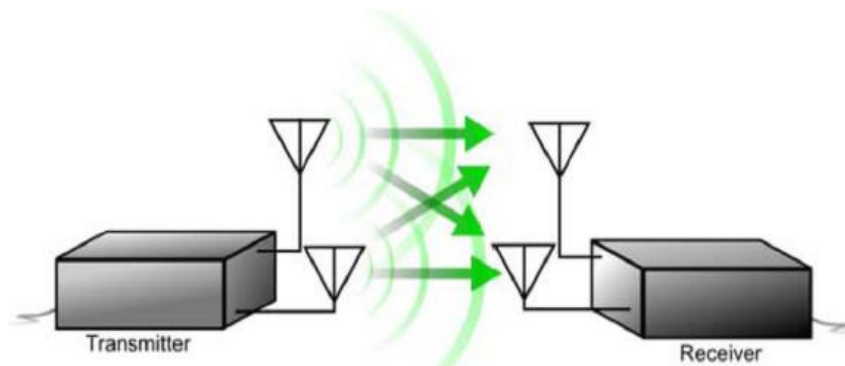


Figura 17: Típico sistema smart antenna con diversidad en transmisión y recepción y beamforming

Fuente: [bibing.us.es/ Capítulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf](http://bibing.us.es/Capítulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf)

A diferencia del sistema anterior, MIMO envía varias señales al mismo tiempo y por el mismo canal, creando una transmisión multidimensional. Este sistema doblaría el throughput, multiplicando de esta manera la eficiencia espectral.

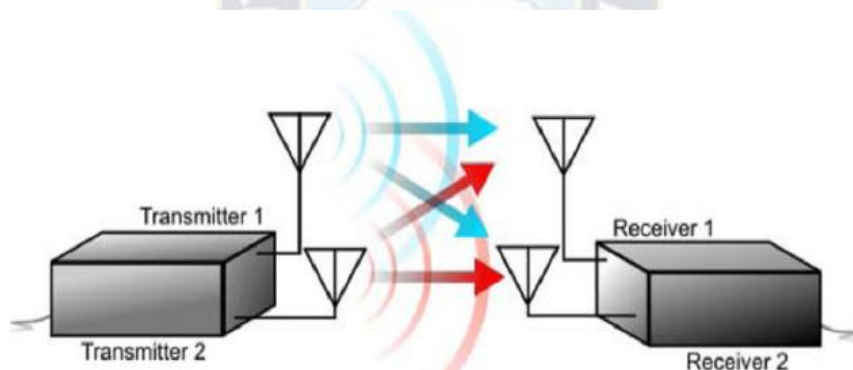


Figura 18: Sistema MIMO

Fuente: [bibing.us.es/ Capítulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf](http://bibing.us.es/Capítulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf)

Para concluir, pongamos el siguiente ejemplo, al que Carl Temme, vicepresidente de Airgo Networks, aludía en un artículo de Network World, y que seguro aclara conceptos.

Podemos pensar en los sistemas radio tradicionales como si viajásemos con nuestro coche por el carril de una carretera nacional, la cual tendría un límite de velocidad que es el que gobernaría el flujo máximo de tráfico permitido a través de ella. Comparándolos con los sistemas convencionales, los sistemas smart antenna

convertirían este carril en uno más seguro, por lo que, aunque la máxima velocidad permitida sigue siendo la misma, al tener más fiabilidad, con “smart antenna” podríamos viajar a una velocidad más cercana al límite establecido. Sin embargo MIMO, en comparación con estos dos casos anteriores, ayudaría a abrir más carriles de circulación en nuestro mismo sentido, lo que convertiría la carretera nacional de un carril por la que estábamos circulando en una autovía con varios carriles (tantos como antenas disponibles). Ahora el límite de velocidad sí que subiría y se podría circular más rápido. La tasa de tráfico sería proporcional al número de carriles abiertos. Y también aumentaría la fiabilidad.

2.11 PRINCIPALES TÉCNICAS DE MIMO

Explicaremos las principales técnicas de transmisión que utiliza la tecnología MIMO antes de dedicarnos a comprender su funcionamiento. Básicamente podemos dividirlos en tres categorías principales: diversidad de antenas, multiplexación espacial y beamforming.

2.11.1 DIVERSIDAD DE ANTENAS

Los sistemas MIMO usan la diversidad espacial para mejorar las prestaciones del sistema. Como dijimos en el anterior párrafo, ésta la consiguen mediante el uso de varias antenas en un mismo transmisor. Según en qué extremo de la comunicación se da la diversidad, diferenciamos entre diversidad en recepción o diversidad en transmisión. Ambas pueden combinarse o darse por separado.

2.11.1.1 DIVERSIDAD DE RECEPCIÓN

Es el uso de dos o más antenas en un mismo receptor para generar recepciones independientes de la señal transmitida. Las antenas deben estar bien distribuidas espacialmente, es decir, deben estar separadas al menos por una distancia de coherencia. Dependiendo de cómo usemos las antenas podemos distinguir a su vez tres subtipos:

- **Diversidad por selección:** elige una de las antenas atendiendo a un criterio concreto: la que reciba la señal de más potencia, la que reciba la señal con mejor SNR, etc.

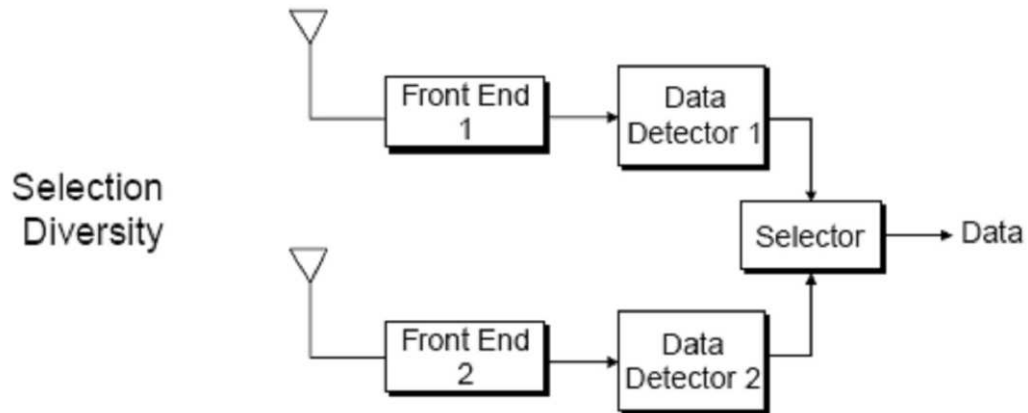


Figura 19: Esquema de un receptor con diversidad por selección
 Fuente: [bibing.us.es/ Capítulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf](http://bibing.us.es/Capítulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf)

- **Diversidad por conmutación:** cambia la antena de recepción cuando la señal recibida no supera un cierto umbral.

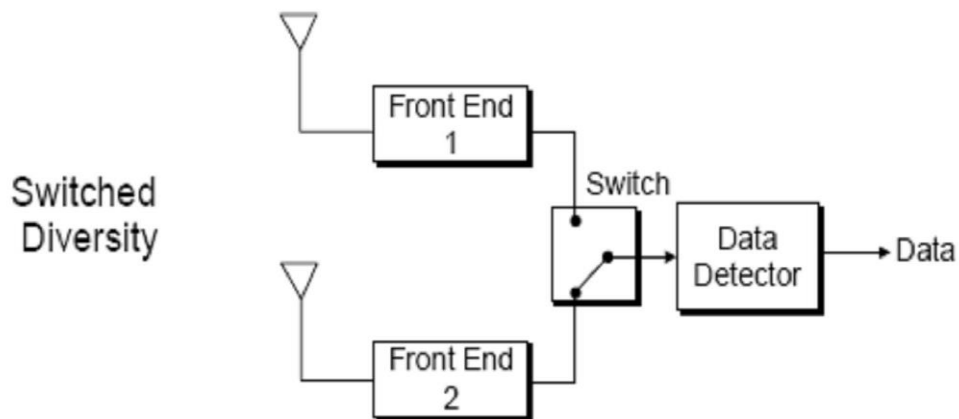


Figura 20: Esquema de un receptor con diversidad por conmutación
 Fuente: [bibing.us.es/ Capítulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf](http://bibing.us.es/Capítulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf)

- **Diversidad por combinación,** realiza una combinación lineal ponderada de todas las señales recibidas. Dependiendo de cómo sea la combinación, se divide a su vez varios tipos: de radio máximo, de igual ganancia, etc.

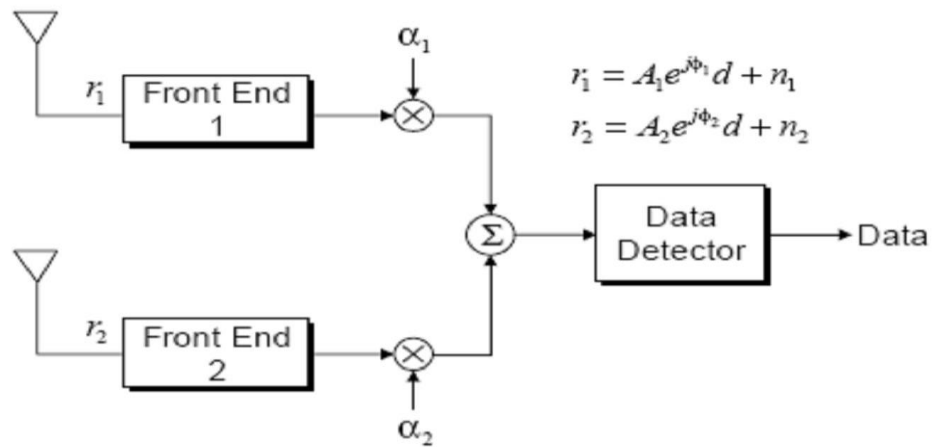


Figura 21: Esquema de un receptor con diversidad por combinación
 Fuente: [bibing.us.es/ Capítulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf](http://bibing.us.es/Capitulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf)

2.11.1.2 DIVERSIDAD DE TRANSMISION

Se refiere al uso de dos o más antenas en el mismo transmisor. Existen varios tipos de diversidad de transmisión: con cambio de antena, con ponderado de frecuencia, a través de diversidad de retraso y a través de diversidad de código. Nosotros nos vamos a centrar en esta última técnica, ya que es la que generalmente usa MIMO.

La diversidad de código o técnicas Space-Time Coding (STC), en castellano codificación espacio-tiempo, es un método empleado para mejorar la fiabilidad de la transmisión de datos usando diversidad de transmisión. STC se basa en transmitir redundantes copias codificadas de una trama de datos, con la esperanza de que al menos una de ellas llegue al receptor en buen estado y así ser posible su decodificación fiable. Estas copias son distribuidas a lo largo del tiempo y entre todas las antenas transmisoras disponibles.

En la imagen vemos el diagrama de bloques de un transmisor con STC. Para cada símbolo de entrada el codificador espacio-tiempo elige una de las constelaciones para transmitir simultáneamente desde cada antena.

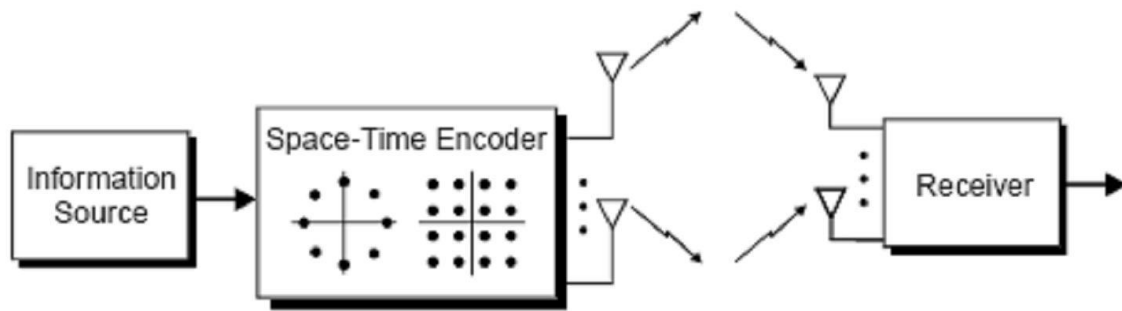


Figura 22: Diagrama de bloques de un transmisor con codificador espacio-tiempo.
Fuente: [bibing.us.es/ Capítulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf](http://bibing.us.es/Capítulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf)

Hay dos tipos de STC:

- **STTC o Space-Time Trellis Coding.** Las copias son codificadas con un código Trellis (un código convolucional). Con este método obtenemos ganancia de codificación y ganancia de diversidad, además de una mejor BER. Sin embargo el codificador/decodificador es más complejo de implementar debido a que es un decodificador de Viterbi.
- **STBC o Space-Time Block Coding.** Las copias son codificadas en conjunto como un bloque de datos. Con este método obtenemos sólo ganancia de diversidad, pero son mucho menos complejos de implementar que STTC porque se basan en procesamientos lineales.

2.11.1.3 MULTIPLEXACION ESPACIAL O SPATIAL MULTIPLEXING (SM)

La demultiplexación espacial consiste en la división de una señal de mayor ancho de banda en varias señales iguales de menor ancho de banda. El “apellido” espacial hace referencia a la transmisión, simultánea y por el mismo canal de frecuencia, de cada una de estas señales por medio de antenas diferentes. La multiplexación espacial es justamente el proceso contrario: la combinación de varias señales de menor ancho de banda en una señal de mayor ancho de banda. Estas dos técnicas son las que usan los transmisores y receptores MIMO

respectivamente para aprovechar la propagación multicamino y es la responsable del aumento de la tasa de transmisión en dichos sistemas.

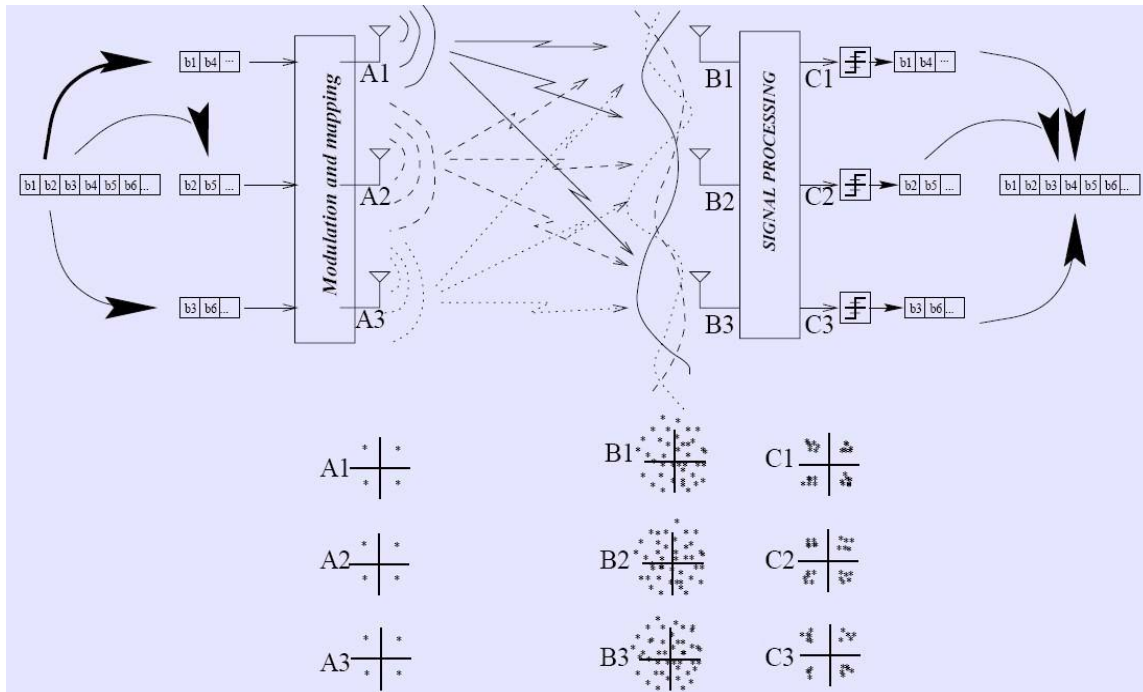


Figura 23: Multiplexación espacial
Fuente: bibing.us.es/ Capítulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf

El orden de multiplexación espacial es el número de flujos de datos transmitidos paralelamente, y su valor máximo estará limitado por el menor del número de antenas transmisoras o de antenas receptoras. El incremento de la eficiencia espectral será proporcional a este orden.

Por último destacar que no podemos entender SM sin un esquema de diversidad de antenas: es obligatorio utilizar varias antenas tanto en el transmisor como en el receptor, ya que es lo que nos proporciona la diversidad espacial. Sin embargo, con SM no será necesario el conocimiento previo del canal.

2.11.2 PRECODING Y BEAMBORMING

Precoding (traducido al castellano, precodificación), en el sentido amplio de la palabra, se refiere a todas las técnicas de procesado espacial que se realizan en el transmisor MIMO. Pero en un sentido más específico, hace referencia a un caso especial de beamforming para transmisiones multidimensionales, como las que

realizan los sistemas MIMO.

Beamforming convencional es una técnica de procesamiento de señales usada para controlar el patrón de radiación de nuestra antena. Aporta la funcionalidad de un filtro espacial y es aplicada tanto en transmisión como en recepción:

- **En recepción**, beamforming se utiliza para incrementar o disminuir la sensibilidad del receptor en una determinada dirección. Por ejemplo, podremos aumentar la sensibilidad en la dirección de la señal deseada, y reducirla en las restantes direcciones, reduciendo así interferencias y ruidos.
- **En transmisión**, beamforming se emplea para configurar el patrón de radiación de nuestra antena. Cambiando la forma del haz, podremos aumentar la directividad de la antena en una determinada dirección, y minimizar la ganancia de la antena para el resto de direcciones.

Muchos autores suelen establecer una analogía de esta técnica con la capacidad que tiene el sistema auditivo humano para localizar sonidos cuando, por ejemplo, en un pub con mucha gente, música y ruidos, podemos distinguir el origen o aislar y entender una conversación de otras.

Hay que tener en cuenta que tanto el precoding como el beamforming requieren de un conocimiento previo del estado del canal.

2.12 PROPAGACIÓN MULTICAMINO DISTORSIONES DEL CANAL RADIO

Podemos decir que entre un transmisor situado en un punto A y un receptor situado en un punto B hay un camino primario, que definiremos como el más directo entre ambos. Inevitablemente no todas las señales que transmitimos entre estos puntos siguen este camino, sino que debido a las numerosas reflexiones y/o refracciones que sufren con los diversos obstáculos que encuentran a su paso, como montañas, edificios o incluso las mismas capas de la atmósfera, tomarán múltiples caminos distintos para alcanzar al receptor. A esto se le llama propagación multicamino o multitrayecto y es una característica que presenta el canal radio de todos los sistemas de comunicaciones inalámbricos. Veamos cómo afecta este fenómeno a las señales que transmitimos.

Las señales que recorren estos caminos “no primarios” llegarán al receptor en tiempos diferentes (siempre más tarde), ya que cada una de éstas ha seguido una ruta diferente al resto. Decimos entonces que tienen un desfase con respecto a la señal primaria. Según este desfase se producirán interferencias constructivas o destructivas provocando sumas o degradaciones de la señal original. La señal vista por el receptor, que no es más que una combinación lineal de las señales multicamino con la señal primaria, sufrirá interferencias constructivas o destructivas que se traducirán en sumas o degradaciones de la señal final.

Este fenómeno lo hemos plasmado en las siguientes ilustraciones.

Como podemos apreciar en la parte superior de la Figura 24, la señal multicamino (representada en rojo) tiene un pequeño desfase con respecto a la señal primaria (representada en azul). Esto hará que cuando ambas se combinen en el receptor conformen una señal principal debilitada, tal y como hemos representado en la parte inferior.

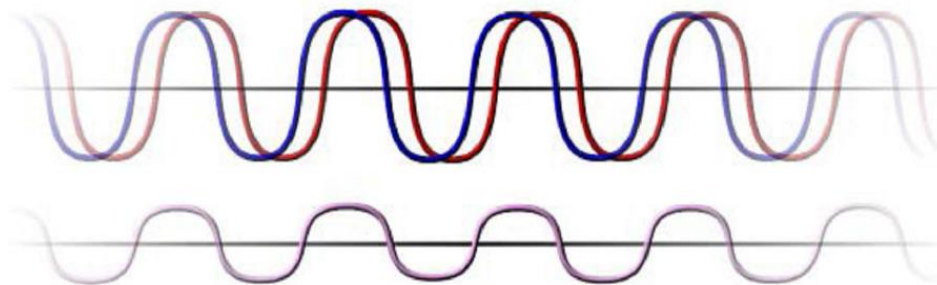


Figura 24: Las señales multicamino que lleguen ligeramente desfasadas crearán una señal más débil al combinarse con la señal primaria en el receptor
Fuente: bibing.us.es/ Capítulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf

Podemos encontrarnos el caso extremo: si el desfase es de 180° , la señal multicamino cancelará totalmente a la señal primaria, no teniendo señal en el receptor.

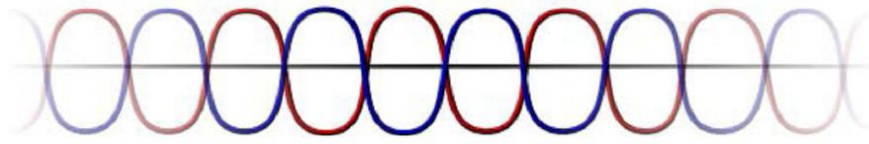


Figura 25: Las señales multicamino que lleguen con un desfase de 180° cancelarán completamente a la señal primaria.

Fuente: bibing.us.es/ Capítulo+3+--+Tecnología+MIMO.pdf

A todo lo anteriormente descrito, hay que añadir otro tipo de distorsiones características del canal inalámbrico:

- **ISI o Interferencia Inter-Simbólica**, causada por la propagación multicamino.
- **Fading o desvanecimiento de la amplitud de la señal**, también causada por la propagación multitrayecto y los efectos de dispersión que sufre la señal.
- **CCI o Interferencia Co-Canal**, causada cuando dos estaciones emiten a la misma frecuencia, en el mismo canal.
- **Canal variante en el tiempo**, cuando las estaciones transmisoras y/o receptoras se encuentran en movimiento.
- **Ruido térmico**, inherente a los propios dispositivos electrónicos.

Todas estas distorsiones causarán una reducción importante de la velocidad de transmisión de datos y un incremento del número de errores, y los percibiremos en forma de ruidos, desvanecimientos de la amplitud, recepción intermitente o repentinas caídas de la transmisión durante nuestra comunicación.

2.13 CÓMO FUNCIONA MIMO

La propagación multicamino fue considerada un problema para las redes inalámbricas y radiocomunicaciones, sin embargo, durante los años 90, varios investigadores de la Stanford University y los Laboratorios Bell demostraron que podía ser explotada para multiplicar la capacidad de los sistemas inalámbricos. Esta es la idea principal en la que se basa el funcionamiento de MIMO.

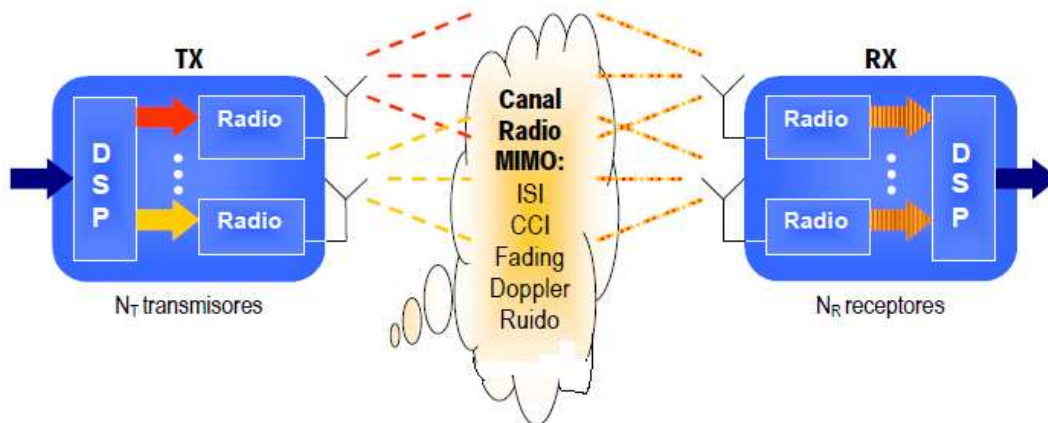


Figura 26: Esquema general de un sistema MIMO
Fuente: [bibing.us.es/ Capitulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf](http://bibing.us.es/Capitulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf)

Un sistema MIMO dispondrá de un transmisor con N_T antenas transmisoras espacialmente distribuidas. El transmisor también contendrá un DSP (Digital Signal Processor, procesador digital de señales en castellano) que codificará un flujo de datos de un solo usuario con velocidad R , en N_T “subflujos” de velocidad R/N_T cada uno.

Cada subflujo será modulado y enviado en paralelo hacia el canal inalámbrico por una antena diferente. Destacar que todos los subflujos se envían en el mismo intervalo de tiempo y a la misma frecuencia e, insistimos de nuevo, por antenas diferentes. En otras palabras, se enviarán múltiples señales simultáneamente por el mismo radiocanal.

MIMO saca ventaja del multicamino de la siguiente forma: cada ruta multicamino será tratada como un canal diferente, creando así una especie de “cable virtual” sobre el cual se transmite la señal. Cada ruta será un cable virtual, y el canal inalámbrico se comportará como un “mazo” de cables virtuales. Al emplear múltiples antenas separadas espacialmente, podremos aprovechar estos cables virtuales para transmitir más datos, multiplicando de esta manera el throughput.

La tasa máxima por canal crecerá linealmente con el número de subflujos de datos diferentes que son transmitidos en el mismo canal. Además, debido a la diversidad de antenas, se incrementará también la distancia de cobertura.

Pero la transmisión sin cables no se comporta igual de bien que a través de cables, por lo que la comparación hecha no es precisa del todo. Cada señal transmitida bajo la influencia de la propagación multicamino seguirá una ruta diferente, por lo que seremos más exactos si decimos que el canal inalámbrico actuará como un conjunto de cables pero con gran grado de “fuga” entre ellos. Esto ocasionará que las señales transmitidas se mezclen juntas. Cada una de las NR antenas del extremo receptor recibirá entonces una señal, fruto de la combinación de los múltiples subflujos transmitidos. El DSP del receptor, mediante complejos algoritmos de procesamiento de señales, separará cada uno de ellos, los ordenará y los combinará, recuperando así la señal original con los datos transmitidos originalmente.

Con un esquema de transmisión MIMO conseguimos un incremento lineal en la eficiencia espectral frente al incremento logarítmico que consiguen otros sistemas tradicionales de una sola antena. En consecuencia, la cobertura (en términos de distancia), la calidad (en términos de BER, Bit Error Ratio, o probabilidad de error), la capacidad (referida en Bits/Hz/segundo o número de usuarios/Hz) y la tasa de bits (Bits/segundo) se verán mejoradas notablemente.

2.14 EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO DE MIMO: WLAN QUE OPERA BAJO EL ESTÁNDAR 802.11N

Con este ejemplo vamos a comprender mejor el funcionamiento de MIMO.

Supongamos una WLAN que opera bajo el IEEE 802.11n 4, estándar que, como ya dijimos antes, utilizará tecnología MIMO. Supongamos que un cliente quiere transmitir datos al punto de acceso al que está registrado. Veamos cómo sería el proceso, paso a paso, con ayuda de la Figura 27:

- i) El cliente envía un flujo de datos a la red inalámbrica a 108Mbps.
- ii) El adaptador inalámbrico 802.11n del cliente dispone de un transmisor MIMO con dos antenas transmisoras (por ejemplo) y un DSP. Éste divide la trama de datos de 108Mbps en dos tramas más lentas de 54Mbps cada una.

- iii) El transmisor envía simultáneamente cada trama por antenas separadas pero por el mismo radiocanal.
- iv) Las señales enviadas por el canal inalámbrico sufren diversas reflexiones con los objetos que encuentran a su paso, haciendo que sigan múltiples caminos. Dentro del mismo radiocanal, MIMO convierte estos múltiples caminos en canales virtuales que transportan mezcladas las distintas tramas de datos.
- v) El punto de acceso 802.11n dispone de un receptor con múltiples antenas que receptionan la señal. Las tramas de datos que viajan en los distintos canales virtuales se separan mediante complejos algoritmos. A continuación se combinan para reconstruir la señal original a 108Mbps.

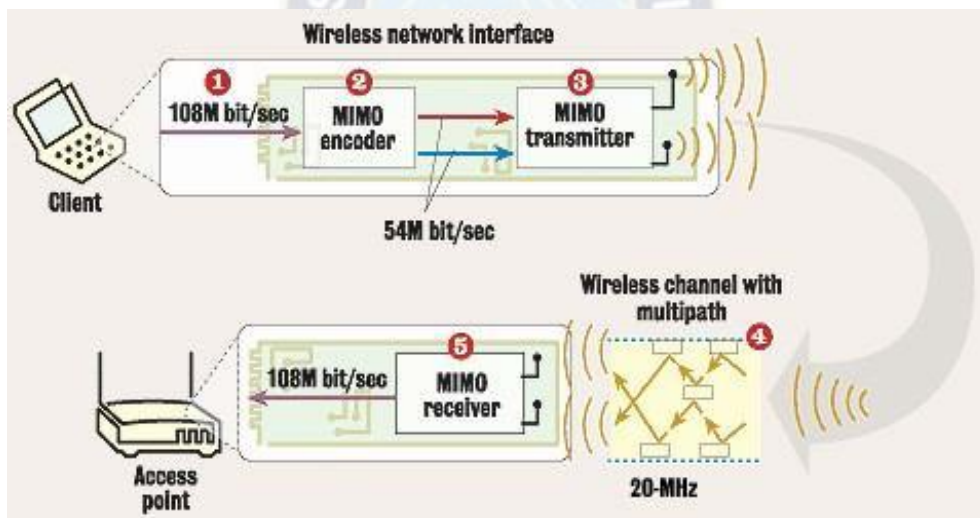


Figura 27: Ejemplo de funcionamiento de MIMO en una WLAN que opera con el estándar 802.11n.

Fuente: [bibing.us.es/ Capítulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf](http://bibing.us.es/Capitulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf)

2.15 APLICACIONES MIMO

MIMO es una tecnología creada para mejorar toda comunicación que sea sin cables. En la actualidad existen numerosos grupos de investigación centrados en el estudio de este tipo de sistemas. Como muestra cabe destacar el interés en estandarizar las técnicas MIMO en tres grandes áreas de aplicación inalámbricas: sistemas de comunicaciones móviles de 4G, sistemas WMAN y WLANs.

Hay importantes estudios acerca de cómo conseguir los objetivos marcados por la cuarta generación de sistemas de comunicaciones móviles. Una de las propuestas para aumentar la tasa binaria en UMTS fue la utilización de múltiples antenas tanto en el Nodo-B (o estación base) como en los terminales móviles de usuario. Es por eso que MIMO emerge para satisfacer las necesidades de 4G: alta tasa de datos, alta fiabilidad y gran alcance. El grupo 3GPP ya ha previsto la utilización de MIMO-OFDM en HSOPA, estándar Pre-4G (también llamado Super3G), y estamos seguros que será una de las tecnologías base de los futuros sistemas 4G.

También ha surgido un gran interés para aplicar MIMO en WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) como así muestra la norma 802.16e, Mobile Wimax. Ésta es una evolución de Wimax para dar soporte a la movilidad del usuario, y también incorpora MIMO-OFDMA.

Por último hacemos también una mención especial a la aplicación directa de MIMO a las WLAN: el estándar 802.11n. Es notable el esfuerzo que está realizando el grupo de trabajo IEEE 802.11 Task Group N, que, junto con varios grupos colaboradores, trabaja para definir el futuro estándar. Previsiblemente estará finalizado para noviembre del 2008 y representará la 4G de las WLAN, con velocidades mucho mayores que los estándares anteriores, mayor capacidad y más fiabilidad.

2.15.1 BENEFICIOS

La tecnología MIMO mejora el rendimiento de cualquier sistema de comunicaciones inalámbrico, multiplicando su eficiencia espectral. Esto se traduce en los siguientes beneficios para nuestra red o dispositivo MIMO:

- **Tasa de bits.** Permitiendo la transmisión simultánea de múltiples tramas de datos, MIMO multiplica la tasa de transmisión sin consumir más espectro. El caudal efectivo o throughput incrementa en un factor igual al número de señales transmitidas en paralelo por el mismo radiocanal y al mismo tiempo. Los expertos calculan que se podrán alcanzar tasas máximas de 600Mbps, con un throughput medio de 108Mbps.

- **Eficiencia espectral.** MIMO es el único sistema que mejora la eficiencia espectral multiplicando al menos dos veces los bits transmitidos por Hz. Por ejemplo, se prevé que los primeros dispositivos MIMO para WLANs repartirán 108Mbps en 20MHz de espectro, lo que hacen 5.4Mbps/MHz. Si lo comparamos con 802.11a/g, que repartía 54Mbps en 20 MHz (2.7Mbps/MHz) vemos que resulta el doble, incluso utilizando técnicas como beamforming o diversidad.
- **Número de usuarios.** Incrementar la capacidad permite aumentar el número de usuarios que podrían conectarse simultáneamente a nuestra red en un mismo canal de frecuencia.
- **Cobertura.** Debido a las técnicas de diversidad, alcanzaremos distancias mayores sin aumentar la potencia de transmisión. Con un solo punto de acceso podremos dar cobertura a una región de espacio más grande que antes.
- **Fiabilidad.** Aumenta con MIMO la probabilidad de error es más baja.
- **Coste.** Debido a que un solo punto de acceso es capaz de soportar más usuarios, y a que con la misma potencia mejoramos su alcance, necesitaremos un menor número de dispositivos, abaratando el coste de nuestra red.

Ya que es la materia principal de estudio de nuestro proyecto, vamos a mencionar beneficios concretos que MIMO aportará a las WLANs que trabajarán con el futuro estándar 802.11n.

2.16 TIPOS DE MIMO

Podemos destacar dos tipos de MIMO: SU-MIMO (Single-User MIMO) y MUMIMO (Multi-UserMIMO).

2.16.1 SU-MIMO (o Multi-antenna MIMO)

Single-User MIMO (o simplemente MIMO, sin perder generalidad) es la tecnología que hemos estado describiendo hasta ahora en el desarrollo del capítulo.

Podríamos traducirlo como “MIMO de un solo usuario”, o como “MIMO punto-apunto” (Point-to-Point MIMO).

Ya hemos visto antes que este tipo de MIMO consigue grandes mejoras en la eficiencia espectral, la capacidad del canal y la fiabilidad, esencialmente mediante el uso de técnicas como la multiplexación espacial o STC. Pero SU-MIMO no explota la diversidad de usuarios, el acceso múltiple: los grados de libertad (DoF, Degrees of Freedom) adquiridos con el uso de múltiples antenas son aprovechados para crear una transmisión multidimensional punto a punto, pero no punto a multipunto. Es decir, SU-MIMO no está diseñado para trabajar con varios usuarios al mismo tiempo. Esta es la característica diferencial con MU-MIMO.

Hasta ahora, SU-MIMO ha sido implementado principalmente para el estándar 802.11n, y las principales técnicas SU-MIMO desarrolladas son:

- BLAST (Bell Laboratories Architecture Layered Space-Time), por G.J.Foschini de los Laboratorios Bell.
- PARC (PerAntenna Rate Control).
- SPARC (Selective PerAntenna Rate Control).

2.16.2 MU-MIMO (o Multi -User & Multi-Antenna MIMO)

MU-MIMO es radicalmente diferente a SU-MIMO. Representa un conjunto de técnicas y algoritmos avanzados (es uno de los motivos por el que algunos autores denotan a esta tecnología como “Advanced MIMO” o “MIMO avanzado”) que, además de aprovechar las ventajas del uso de múltiples antenas, explota la multiplicidad de usuarios. Esta variación de MIMO implica el acceso múltiple, es decir, el reparto espacial del canal entre múltiples usuarios, pudiendo crear transmisiones multidimensionales punto a multipunto (un usuario a muchos usuarios), o incluso multipunto a multipunto (varios usuarios a varios usuarios). La siguiente figura 28, trata de explicar el concepto básico de MU-MIMO.

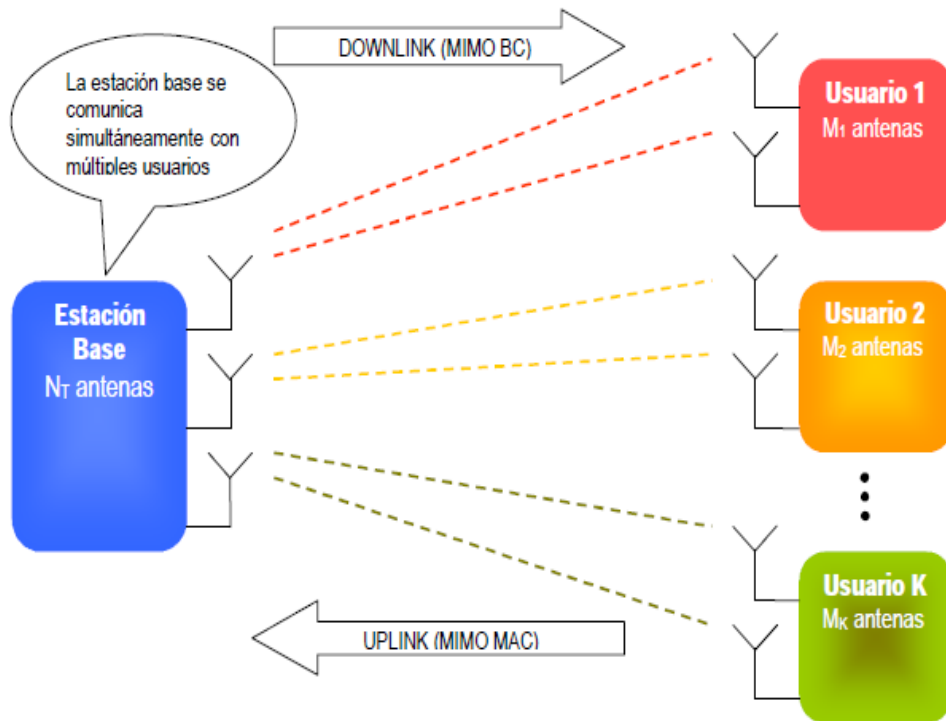


Figura 28: Concepto básico de MU-MIMO
 Fuente: bibing.us.es/Capitulo+3+-+Tecnología+MIMO.pdf

2.17 FACTORES QUE INFLUYEN EN UN ENLACE INALAMBRICO

En este punto se muestran la visibilidad como así conceptos y factores que influyen para la planificación de un enlace inalámbrico al aire libre.

La distancia y ubicar los puntos son factores importantes para realizar la planificación del enlace, sin embargo, también hay otros factores importantes, uno de los más importantes es la zona de Fresnel.

Existen tres tipos de enlace en función de la visibilidad line of sight (LOS) cuando hay línea de vista directa entre el transmisor y el receptor y la zona de Fresnel está despejada, Near line of sight (nLOS) si hay visibilidad directa pero la zona de Fresnel está parcialmente obstruida y Non line of sight (NLOS) cuando no hay visibilidad directa y por consiguiente la zona de Fresnel está totalmente obstruida.

2.17.1 LÍNEA VISUAL

El termino línea visual, a menudo abreviada como LOS (por su sigla en inglés, Line of Sight), es fácil comprender cuando hablamos acerca de la luz visible: si podemos ver un punto B desde un punto a donde estamos, tenemos línea visual.

Dibuje simplemente una línea desde A hacia B, si no hay nada en el camino, tenemos línea visual.

Las cosas se ponen un poco más complicadas cuando estamos tratando con microondas, Recuerden que la mayoría de las características de propagación de las ondas electromagnéticas son proporcionales a la longitud de onda. Este es el caso del ensanchamiento de las ondas a medida que avanzan. La luz tiene una longitud de onda de 0,5 Micrómetros, las microondas usadas en las redes inalámbricas tienen una longitud de onda de unos pocos centímetros⁸. Por consiguiente, los haces de microondas son más anchos necesitan más espacio.

Note que los haces de luz visibles también se ensanchan y si los dejamos viajar lo suficiente, podemos ver los resultados a pesar de su pequeña longitud de onda. La línea visual que necesitamos para tener una conexión inalámbricas optima desde A hacia B es más que simplemente una línea delgada su forma es más bien le dé un cigarro, un elipsoide. Su ancho puede ser descrito por medio del concepto de zonas de Fresnel.

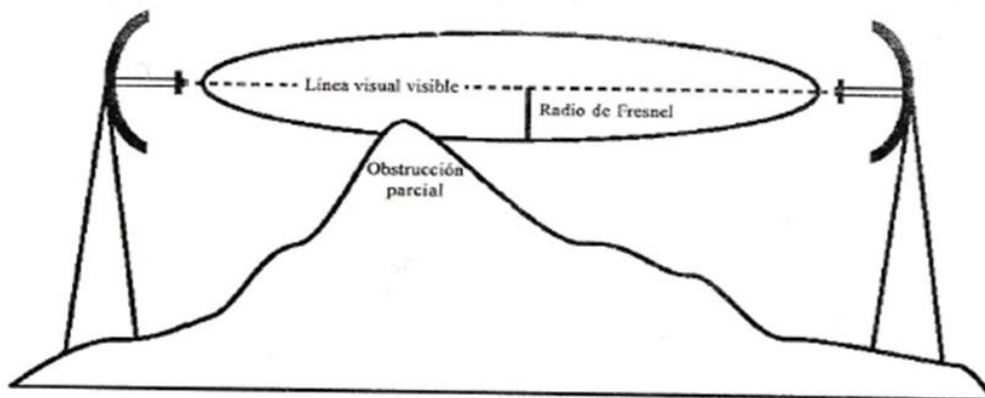


Figura 29: La zona de Fresnel es bloqueada parcialmente en este enlace
Fuente: Libro Redes Inalámbricas

2.17.2 LA ZONA DE FRESNEL

La teoría exacta de las zonas de Fresnel es algo complicada. Sin embargo el concepto es fácilmente entendible: sabemos por el principio de Huygens que por

⁸ Ing. Jorge Luis Carranza Lujan 2008, Redes Inalámbricas, Lima Ediciones Megabyte.

cada punto de frente de onda comienzan nuevas ondas circulares. Sabemos que los haces de microondas. También sabemos que las ondas de una frecuencia pueden interferir unas con otras. La teoría de la zona de Fresnel simplemente examina a la línea desde A hasta B y luego al espacio alrededor de esa línea que contribuye a lo que está llegando al punto B. Algunas Ondas viajan directamente desde A hasta B, mientras que otras lo hacen en trayectorias indirectas. Consecuentemente, su camino es más largo, introduciendo un desplazamiento de fase entre rayos es directo e indirecto. Siempre que el desplazamiento de fase es de una longitud de onda completa, se obtiene una interferencia constructiva: las señales se suman óptimamente. Tomando este enfoque y haciéndolos cálculos, nos encontramos con que hay zonas anulares alrededor de la línea directa de A hacia B que contribuyen a que la señal llegue al punto B. Tenga en cuenta que existen muchas zonas Fresnel pero a nosotros nos interesa principalmente la zona I, Si esta fuera bloqueada por un obstáculo, por ejemplo un árbol o un edificio, la señal que llegue al destino lejano será atenuada. Entonces cuando planeamos enlaces inalámbricos debemos asegurarnos de que la zona va estar libre de obstáculos. En la práctica nos conformamos con que al menos el 60 % de la primera zona de Fresnel este libre.

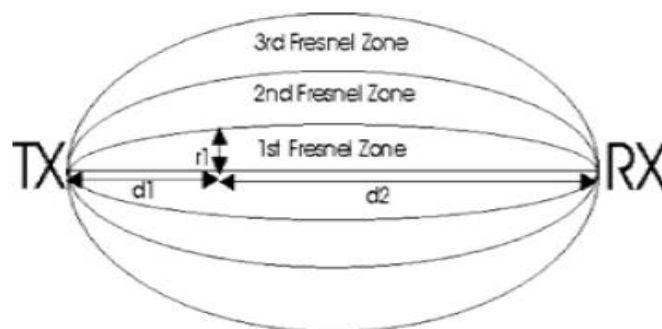


Figura 30: Diferentes zonas de Fresnel

Fuente: <http://telecomunicaciones-levt.blogspot.com/2015/06/para-un-enlace-de-punto-punto-modoad.html>

Aquí está la fórmula para calcular la primera zona de Fresnel:

$$Rfn = 17.32\sqrt{(d1 * d2)/(f * d)} \quad (1)$$

Donde r es el radio de la primera zona de Fresnel en metros, d_1 y d_2 son las distancias desde el obstáculo del enlace hacia los extremos en metros, d es la distancia total del enlace en metros y f es la frecuencia en MHz

2.17.3 ECUACION DE FRIIS

La ecuación de Friis se centra en la comunicación inalámbrica y permite saber la potencia recibida en un determinado receptor (antena), en términos de la potencia enviada. Fue desarrollada por el ingeniero Harald T. Friis en 1945. Dichas pérdidas están relacionadas con el espacio libre (frecuencia y distancia), las guías de onda, cables y otras líneas de transmisión utilizadas, así como lluvia, reflexión, vegetación, gases y otros fenómenos.

En éste proyecto no pretendo analizar la ecuación en sí, sino explicar la idea en síntesis de forma sencilla; explicando una serie de fenómenos que involucra y cómo se aprovechan en el mundo real. Empecemos analizando matemáticamente la expresión:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - \sum L_i \quad (2)$$

Dónde:

P_{RX} : es la potencia de recepción (dBm).

P_{TX} : es la potencia de transmisión (dBm).

G_{TX} : ganancia de la antena transmisora (dBi).

G_{RX} : ganancia de la antena receptora (dBi).

L_i : pérdidas por espacio libre, difracción, etc. (dB).

2.17.4 PERDIDAS POR ESPACIO LIBRE

Las pérdidas de espacio libre se refieren a la atenuación de la potencia en la ruta del enlace, debido a la distancia recorrida y basada en la frecuencia de transmisión.

Matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

$$PEL = 32,45 + 20 \log |d_{(Km)}| + 20 \log |f_{(MHz)}| \quad (3)$$

O

$$PEL = 92,45 + 20 \log |d_{(Km)}| + 20 \log |f_{(GHz)}| \quad (4)$$

Donde,

d(Km): es la distancia entre el transmisor y el receptor en kilómetros.

f(MHz) y f(GHz): frecuencia de la señal en Mega Hertz y Giga Hertz, respectivamente.



CAPITULO III

ESTUDIO DE MERCADO

3.1 DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Las tecnologías de la información como agente de desarrollo está ligado al contexto social, económico y organizativo donde esta se desenvuelve, el desarrollo de una infraestructura básica y el desarrollo de recursos humanos, es evidente que los costos de inversión en infraestructura de telecomunicaciones son con la tecnología que se usara es de bajo costo y eso es una ventaja para desarrollarle el proyecto.

La comisión de ciencia y tecnología para el desarrollo de las naciones unidas señalaban en 2012 que si bien los costos de usar las tecnologías de la información para construir infraestructura de información eran extremadamente altos, el costo de no hacerlo era mucho más elevado aun. Y ese es un criterio que tanto quienes trabajamos en el desarrollo, como el estado y la empresa privada debe comprender.

Si no se mejora la infraestructura de telecomunicaciones en aéreas rurales será muy difícil que los sistemas de información se conviertan en elementos activos del desarrollo.

A esta altura nuestros municipios se encuentran aislados de las tecnologías de la información y el desarrollo de las telecomunicaciones en el área rural. La importancia que adquiere ahora el internet para desarrollar el campo es fundamental, hoy los centros del área rural que se dedican a actividades desean conocer el precio justo de su producto en el mercado.

A diferencia de otros medios de alcance mundial, internet da a todos usuarios la posibilidad de ser remitente, receptores, emisores de alcance general o reducido. Es utilizado por un número cada vez mayor de personas para conversar, debatir, encontrarse, enseñar, aprender, comprar y vender e intercambiar prácticamente todo tipo de información que uno se puede imaginar.

El éxito del internet en los países desarrollados hace referencia a una gran potencial para fines de desarrollo. Su empleo para el desarrollo rural comporta la

posibilidad de fomentar la participación de las comunidades y municipios en las decisiones que afectan sus vidas.

Facilitar el diálogo entre los municipios y comunidades con las ciudades de la paz

Reducir el aislamiento y la marginación de los municipios y comunidades

Dar facilidad la comunicación a entidades financieras como bancos y ONG's, unidades educativas, casa de justicia y policía.

Facilitar información, conocimiento y capacidades con sensibilidad a las necesidades flexibilidad.

Construir y superar las barreras materiales y financieras que impiden a los investigadores agrícolas las técnicas, los agricultores y otros intercambiar información y competencias.

3.2 VISIÓN MUNICIPAL

La visión estratégica concertada del municipio es la siguiente:

“Colquencha es un municipio productivo competitivo y cooperativo con organizaciones de productores del mejor ganado de engorde, con piedra caliza transformada y productos artesanales de calidad; posee una elevada cobertura en salud y con un sistema educativo de excelencia; donde el Gobierno municipal es transparente, participativo y promotor del Desarrollo Económico Local a partir de la formación de capital humano capacitado y con una promoción económica permanente de sus organizaciones productivas”.

Para describir la visión del Municipio se explican los términos usados:

Se toman en cuenta el termino municipio productivo con el fin de indicar que en el futuro las actividades promovidas sean rentables, competitivas y tengan un enfoque empresarial con explotación eficiente de los recursos naturales, por otro lado se indica cooperativo porque salir adelante en un mundo con tanta competencia es lograr que los productores locales logren afianzar mecanismos de cooperación (“municipio cooperativo”) que les permita alcanzar escalas de producción para lograr mayor competitividad en las áreas que posee posibilidades: ganado de engorde, piedra caliza transformada, productos artesanales de calidad. Por otro lado se busca una elevada cobertura en salud y con un sistema educativo

de excelencia de tal modo de promover la formación de capital humano por ser los sujetos finales del desarrollo, de acuerdo a la Ley de Municipalidades Capítulo II Artículo 7 (en la cual se indica que el Municipio tiene como competencia la planificación del desarrollo humano sostenible en el ámbito urbano y rural del Municipio de conformidad a la norma participativa municipal).

Por otro lado se establece que el Gobierno Municipal será el promotor del Desarrollo Económico Local con el fin de que sea un actor activo en el fortalecimiento de las organizaciones productivas de la región fortaleciendo las actividades rentables que permitan que las familias mejoren sus ingresos económicos y que les permita generar excedentes económicos.

3.3 DEMOGRAFÍA DEL MUNICIPIO

La población del municipio en 1992 era de 5.850 habitantes, luego en el Censo Nacional de Población y Vivienda del 2001 (CNPV – 2001) se determinó que se incrementó a 8.020 habitantes, y se estima que la población en el 2005 es de 9.171 habitantes.

La densidad demográfica del municipio es de 27 habitantes/Km², siendo los cantones de Colquencha – Machacamarcá – Marquirivi los de mayor densidad demográfica.

En el contexto provincial Sica Sica posee la mayor cantidad de población de la provincia con 26.818 habitantes, ubicándose Colquencha en el antepenúltimo lugar representando el 9.3% de la población total de la provincia.

3.4 CENTROS POBLADOS

La población según el INE en el municipio, de Colquencha 9,785 habitantes es y tiene un crecimiento entre 2001 y 2012 de un 34 % de acuerdo a eso se hace una estimación de la población por comunidades y cantones usando la ecuación de crecimiento lineal:

$$P_f = P_i \times (1 + r * t) \text{ donde } r = ((P_f/p_i) - 1) * 1/t \quad \text{Ecuación (3.1)}$$

Donde P_f=población al final del periodo

r=tasa de crecimiento

P_i =población inicial al periodo

t = intervalos de tiempo en años

Los centros con mayor población en el municipal se sacó de acuerdo al crecimiento que tubo según el censo 2012 y se detallan a continuación

POBLACIÓN	POBLACIÓN POR SEXO		POBLACIÓN POR ÁREA	
	HOMBRE	MUJER	URBANO	RURAL
TOTAL	5.060	4.819	3.085	6.794
9.879				
Tasa de crecimiento intercensal 2001-2012				1,9
Tasa de migración interna neta 2001-2012				0,1

*Tabla 9. Tasa de Poblacion de Municipio de Colquencha
Fuente Elaboracion Propia*



*Gráfico 1: Estimación porcentual de población de Colquencha
Fuente: Elaboración Propia*

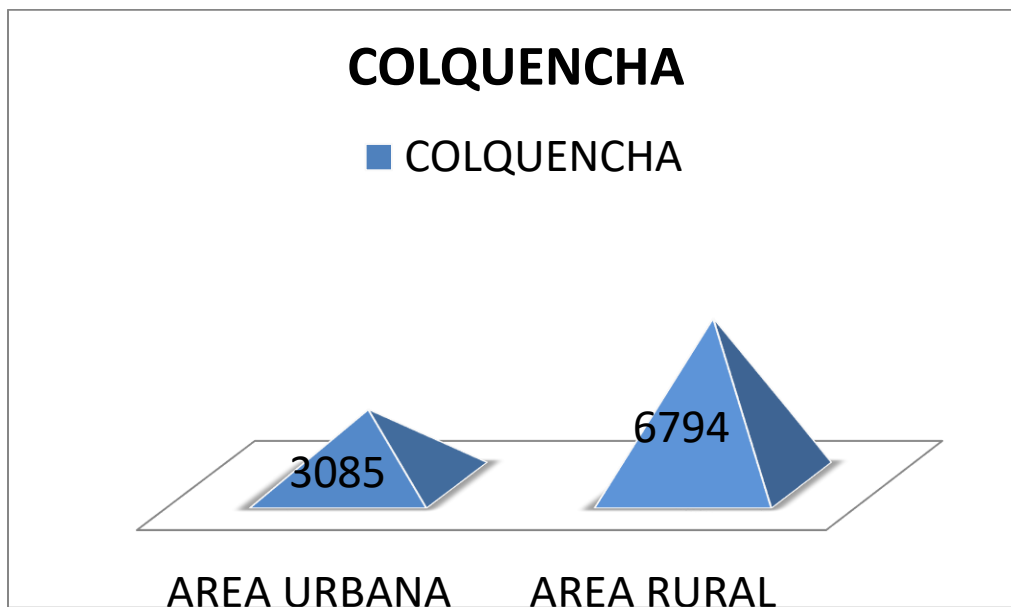


Grafico 2: Estimación porcentual de población de Colquenchá
Fuente: Elaboración Propia

TIEMPO POR AÑO	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
POBLACIÓN	9879	10867	11855	12843	13831	14819	15806
TASA DE CRECIMIENTO	0,1						

Tabla 10: Crecimiento del Municipio de Colquenchá hasta 2018

Fuente Elaboración Propia

3.5 EDUCACION

3.5.1 EDUCACION FORMAL

La educación formal es impartida en 17 unidades educativas las mismas se sub dividen en 15 unidades fiscales y dos unidades particulares estas se encuentran dentro del municipio y cubren las necesidades de educación de las 31 comunidades con los niveles de pre-escolar (inicial), primaria y secundaria.

3.5.2 ESTRUCTURA INSTITUCIONAL: NÚMERO, TIPO Y COBERTURA DE LOS ESTABLECIMIENTOS

- Estructura institucional

La estructura institucional de la educación depende del Ministerio de Educación a nivel Nacional; del servicio Departamental de Educación y a nivel Municipal la Dirección Distrital.

El sistema educativo municipal organizado a la cabeza de la dirección distrital que está bajo la responsabilidad tres núcleos educativos de los cuales dos se encuentran en el municipio de Colquencha y uno se encuentra en Collana, los núcleos educativos se encuentran agrupados en 18 Unidades educativas.

El núcleo de Colquencha está conformado por 9 unidades educativas y Santiago de Llallagua por 8 unidades; de los cuales 4 son del nivel inicial, sexto de primaria y 4 de secundaria; a detalle la estructura institucional es la siguiente.

- Número, tipo y cobertura de los establecimientos

La educación en el municipio de Colquencha está organizado en dos núcleos educativos los cuales son: Núcleo Colquencha y Santiago de Llallagua 15 unidades educativas del nivel fiscal y 2 unidades privadas, distribuidas en todas las comunidades.

3.6 GESTIÓN MUNICIPAL

Debido a las inconvenientes de comunicación, procesamiento y traspaso de información, los municipios de COLQUENCHA se ven en la necesidad de implementar tecnologías de información que le permita interconectarse e intercambiar información en tiempo real, ya sea con organismos gubernamentales, órganos municipales u otras fuentes de consulta de información, de lo contrario seguirá incrementándose los costos administrativos por traslado de información o documentación de un local a otro.

La gestión de estudio de mercado y administrativa se busca agilizar de ciertos cuadros de necesidades y tramites documentarios en general, estos generalmente están referidos al requerimiento de equipos para obras en general.

3.7 ANÁLISIS DE LAS CAUSAS DEL PROBLEMA

Los municipios a estudio no cuentan con infraestructura tecnológica suficiente para desarrollar su producto turístico, económico, educativo, y social.

3.7.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En los municipios en estudio se identificó el siguiente problema principal “DEFICENCIA ACCESO A INFORMACION Y COMUNICACIÓN” esto se debe a su baja infraestructura tecnológica y el acceso a la información es muy alto costo.

3.7.2 IDENTIFICACIÓN Y CAUSAS:

Las causas que se tomara son directas e indirectas:

i) Causas directas:

- Limitado uso de tecnología y comunicación en los municipios en estudio

ii) Causas indirectas

- Ausencia de información y tecnológico que permita la transmisión de datos
- Apoyo limitado de las autoridades de los municipios en estudio
- Poca difusión de los beneficios de las tecnologías de información y comunicación en los municipios en estudio
- Alto costo al acceso a internet.
- Los telecentros y unidades educativas no tiene acceso a información tecnológico

3.8 ANÁLISIS Y EFECTOS

Los efectos que tendrá el proyecto será potencial en el municipio que a continuación resumimos.

- Retraso en los niveles, formación y capacitación educativa
- Población desinformada y lentitud en los procesos y gestión administrativa institucional tanto gubernamental y institucional.
- Poca difusión de los beneficios de turismo en los al municipio.

- Poca difusión de los beneficios de las TIC en el municipio

3.8.1. ANÁLISIS DE FINES DEL PROYECTO

Para alcanzar el objetivo del proyecto generara consecuencias positivas para la población beneficiada por la ejecución del mismo problema a estas consecuencias positivas se lo llamara fines del proyecto estos fines alcanzara y, están relacionados con la reversión de los efectos del problema.

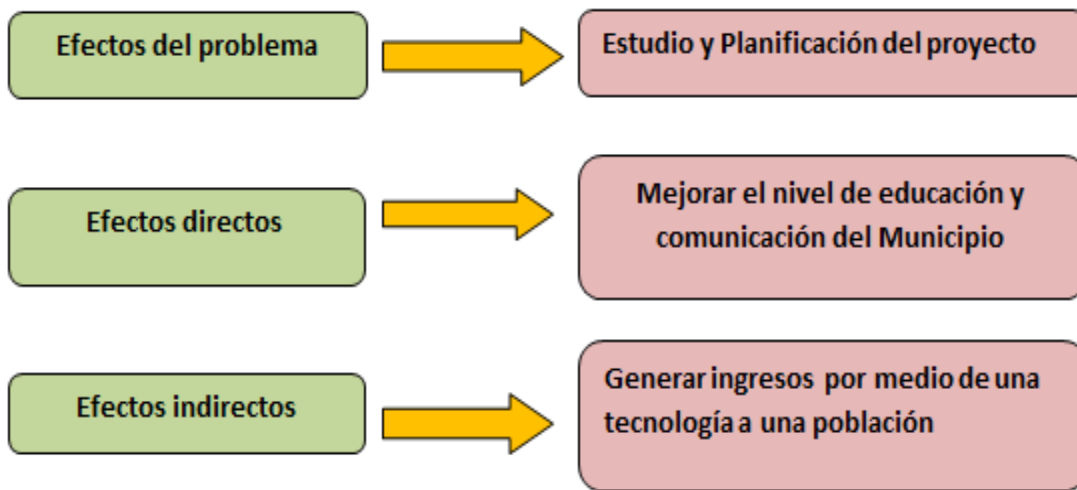


Figura 31: Análisis de efectos y fines del Proyecto
Fuente: Elaboración Propia

Los fines del proyecto se desarrollaran acorde con herramientas en busca del desarrollo económico productivo y educacional.

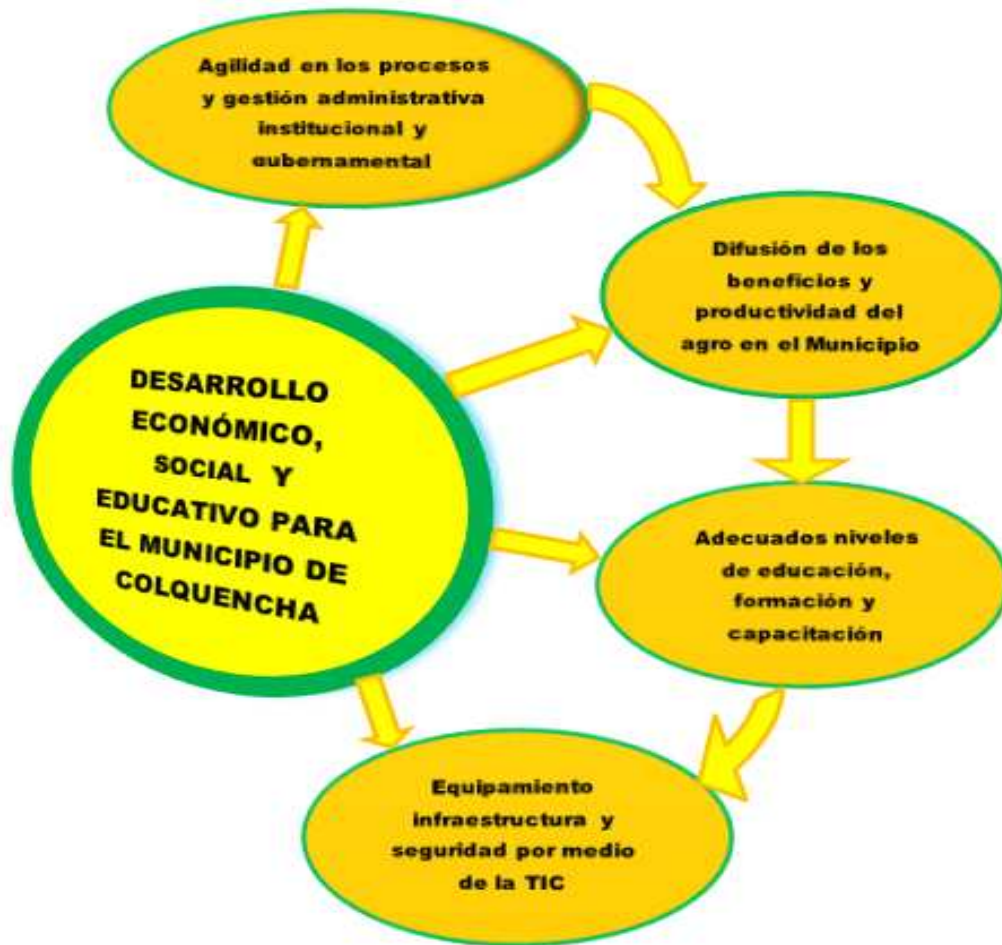


Figura 32: Desarrollo Económico, social y educativo
Fuente: Elaboración Propia

3.8.2 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

Las alternativas para solucionar la problemática del proyecto. Es la Instalación de una red WiFi de tecnología MIMO ya que esta tecnología es confiable y de bajo costo y de mucho alcance.

La red WiFi se diseñara mediante un enlace desde la ciudad de La Paz y el Cerro de Colquencha, de ahí se podrá colocar un repetidor que se transmitirá hasta el municipio de Colquencha y sus alrededores.

Desde el municipio se hará la repartición a los sitios con los nombres y lugares ya mencionados en la tabla siguiente. Desde el repetidor 1 que es el municipio de Colquencha se repartirá a todas estos lugares elegidos.



Figura 33: Lista de lugares a Instalarse el Internet
Fuente: Elaboración propia

3.9 BENEFICIOS EXCEPCIONALES DE LA CONEXIÓN INALÁMBRICA:

- Alta Velocidad en enlace de Datos
- Instalación rápida de la Estación Base (un día).
- Instalación rápida para los clientes (2 a 4 horas).
- Accesos eficaces de costos para usos prolongados y usuarios múltiples.
- Acceso a Internet fiable e instantáneo las 24 horas.
- Costos de la instalación de la red inalámbrica accesibles.

3.10 RED DE COMUNICACIONES

Los principales medios de comunicación en el municipio son: telefonía rural, telefonía móvil o celular, radios receptoras y medios televisivos que ingresan con el uso de antenas que retransmiten la señal a gran altura.

Existe servicio de telefonía local y móvil “celular”, sobre todo de alcance en el sector urbano, donde llegan señales no solo de la empresa ENTEL, sino de otras que ofrecen telefonía celular como TIGO y VIVA. El municipio también cuenta con cabinas de ENTEL en las plazas principales de los diferentes cantones, esto para la comunicación pública de la población.

En cuanto al sistema de radiocomunicaciones están presentes en la mayoría de las comunidades de Colquencha, haciéndose más importante en las zonas urbanas donde otros medios no llegan por su lejanía y su baja cobertura. Mientras para el servicio de correo y encomiendas en el municipio, es asumido por el transporte público (minibuses) quienes prestan este servicio de manera informal de acuerdo a su frecuencia de ingresos y salidas a las localidades principales, claro que por la cercanía de la ciudad de El Alto.

3.10.1 OTRAS OPERADORES

En la actualidad no hay otras empresas operadoras prestando el servicio en estas zonas, situación que justifica un análisis un previo estudio de mercado y alcance social del internet para el diseño final del radioenlace.

Sin embargo en el país existen empresas grandes y pequeñas que proveen este servicio a nivel nacional o departamental como el caso de La Paz, Entel, AXS, Cotas, AIRNET, en especial este último que proporciona y trabaja en la provincia Omasuyos más específicamente Achacachi y sus alrededores, el servicio de internet tiene costos desde 80 Bs. y 450 Bs. esto dependiendo de la velocidad.

3.10.2 INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES

El municipio cuenta como dijimos anteriormente con radio bases, las cuales proporcionan el servicio de telefonía móvil al municipio y lugares lejanos hacen uso del mismo. La red de infraestructura de telecomunicaciones que tienen desplegadas estas empresas que operan en este municipio, y estas están alimentadas por la red eléctrica comercial mencionada.

3.10.3 TELECENTROS

Estos lugares de información para los estudiantes de la unidad educativa así como los pobladores que son usuarios que hacen uso de la misma, estos telecentros, son dependientes de los municipios cuyo costo promedio por mes es de 900 Bs son la vía para que vayan cerrando las brechas de información entre campo y ciudad. Ofreciendo mismo un servicio lento y de mala calidad por los retardos que se dan acceder una página y los cortes que se dan por la pérdida de la señal, sin

embargo el acceso del centro de consulta y de información por parte del usuario tiene costo de 4 Bs la hora.

3.11 SITUACION ACTUAL DE OPERADORES DE INTERNET

El estado actual del servicio de Internet es mínima y muy escasa particularmente en el departamento de La Paz se encuentra en constante crecimiento y con planes de ampliar el servicio, lo que en internet se denomina área de cobertura.

Hoy en día el mercado local se encuentra cubierto por dos empresas de carácter privado de amplia penetración nacional junto a la empresa del estado Entel

3.11.1 ENTEL – DATOS INTERNET MÓVIL

Entel y los planes Internet Móvil 4G Datos Post Pago son los siguientes:

PLANES	Abono Mensual (Bs)	Máximo Transferencia (MB)	Tarifa por MB adicional (Bs)
BAM 50	50	1000	0,2
BAM 98	98	2000	0,2
BAM 150	150	3700	0,2
BAM 198	198	5000	0,2
BAM 300	260	5200	0,2
BAM 10G	288	10240	0,2
BAM ilimitado	320	ilimitado	No Aplica

Tabla 11. Tarifas servicio 4G ENTEL

Fuente: http://www.entel.bo/documentos/tarifas/tarifario_total.pdf

Con el anuncio del Presidente Evo Morales sobre las rebajas en las tarifas de internet para todos los clientes de ENTEL; el 22 de diciembre de 2015, en el 50 aniversario de la estatal telefónica; la nacionalizada llega a ser la empresa con las

tarifas más bajas en internet y telefonía en el mercado nacional en relación a sus competidores.

La reducción de precios son tanto para el internet domiciliario en 27,56%, empresarial 80,1% y telefonía móvil 30%.

Es así que el precio por megabyte (MB) utilizado por equipos móviles (celulares, tablets y otros) rebajó de 0.20 bolivianos a 0.14, tarifa que entró en vigencia el 23 de diciembre del 2015.

En el caso del internet domiciliario, los nuevos precios son: dos megas, que antes costaban 240 bolivianos, bajaron a 186; de tres megas, de 299 bolivianos, a 224; cinco megas, de 450 bolivianos, a 292.

La rebaja de mayor consideración es en la tarifa del internet empresarial corporativo. El precio de un mega era de 5.950 bolivianos, con la rebaja sólo cuesta 734; dos megas costaban 9.500 bolivianos, ahora 1.250; tres megas 11.400 bolivianos, ahora solo 1.766; cinco megas 15 mil bolivianos ahora 2.797; antes 10 megas, costaba 22 mil bolivianos, ahora 5.375 y 20 megas de 29.879 bolivianos a 10.531.

3.11.2 TIGO

Nombre del Paquete		Volumen en Mega Bytes	Tarifa en Bs	Nro. Corto	Vigencia del Paquete
PAQUETES HORA, DIA Y SEMANA	HORA_500	500 MB	7	4646	60 minutos
	DIA_1000	1.000 MB	20		24 horas
	SEMANA_5000	5.000 MB	100		7 días
PAQUETES MENSUALES	MES_INICIAL_2000	2.000 MB	150	1188	
	MES_BASIC0_4000	4.000 MB	200		
	MES_SUPERIOR_6000	6.000 MB	250		
	MES_AVANZADO_10000	10.000 MB	300		
	MES_INTERMINABLE_20000	20.000 MB	350	4646	

Tabla 12 : Tarifas Empresa de Telecomunicaciones Tigo

Fuente: <http://www.tigo.com.bo/>

3.11.3 VIVA

NOMBRE DEL PLAN MENSUAL	PERIODICIDAD	PRECIO POR SUSCRIPCION Bs	PRECIO POR MB ADICIONAL Bs	LIMITE CAPACIDAD	VELOCIDAD HASTA
Móvil 3G Hora	Sesenta	7	0.50	100 MB	256 Kbps
Móvil 3G Día	Veinticuatro	20	0.50	1000 MB	256 Kbps
Móvil 3G Semana	Semana	120	0.50	2000 MB	256 Kbps
Móvil 3G Mes	1 Mes	340	0.50	4000 MB	256 Kbps

Tabla 13: Tarifas empresa de Telecomunicaciones Viva
Fuente: <http://www.nuevatel.com/personal/internet/internet-movil-4g/>

NOMBRE DEL PLAN MENSUAL	PERIODICIDAD	PRECIO POR SUSCRIPCION Bs	PRECIO POR MB ADICIONAL Bs	LIMITE CAPACIDAD	VELOCIDAD HASTA
Móvil 3G 250	250	33	0.50	250 MB	256 Kbps
Móvil 3G 500	500	65	0.50	500 MB	256 Kbps
Móvil 3G 1000	1000	130	0.50	1000 MB	256 Kbps
Móvil 3G 2000	2000	260	0.50	2000 MB	256 Kbps

Tabla 14: Bolsa de Volumen pre-pago
Fuente: <http://www.nuevatel.com/personal/internet/internet-movil-4g/>

3.12 INFRAESTRUCTURA ELECTRICA

En cuanto al Servicio de Energía Eléctrica, es un recurso limitado debido a que su cobertura no llega a todas las familias del municipio, la cobertura de energía es mayor en los cantones de Colquencha y Marquirivi respecto a los demás cantones la cobertura es menor es el caso de Machacamarca, Santiago de Llallagua y Micaya. El costo de servicio de electricidad es de 25 Bs/mes aproximadamente. Actualmente el municipio cuenta con energía eléctrica comercial las 24 horas del día, cuyo proveedor es DELAPAZ. El tendido eléctrico es próximo a las torres y repetidoras de telecomunicación y que están a una aceptable elevación para nuestro proyecto del radioenlace donde haremos uso de la misma.

3.13 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE MERCADO

Un breve repaso de este capítulo nos permite arribar a las siguientes

conclusiones:

- Las empresas dedicadas a brindar servicio de telefonía móvil no han ingresado aun a las aéreas rurales, en la actualidad, solo ven este mercado como proyectos a mediano plazo o de expansión.
- Las perspectivas de implementar servicio de telefonía móvil con tecnología troncalizada en la localidad de Colquencha son alentadoras dada la receptividad de sus habitantes.
El precio del producto y del servicio se constituirá en un elemento básico para la viabilidad del proyecto.
- Si bien el ingreso medio de los habitantes es relativamente bajo, este factor no representa una barrera o un obstáculo para el proyecto, en vista de que Colquencha cuenta con un potencial turístico, lo que representará a futuro en un incremento PIB regional.



CAPITULO IV

INGENIERÍA DEL PROYECTO

4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL DISEÑO

Ya se ha elegido la zona geográfica a la que se quiere dar cobertura de Internet a través del Enlace Inalámbrico así poder llegar al municipio de Colquencha, para ello necesitamos y buscamos, el lugar apropiado así dar la sugerencia de colocar nuestros equipos en lugares que cuenten con la línea de vista necesaria y no afecte la geografía topográfica de las zonas o áreas rurales de los cuales depende este municipio.

Además para facilitar el diseño, se han buscado torres de radio bases o estaciones de telefonía móvil ya existentes en dichas poblaciones, las cuales nos pueden ser útiles para nuestro diseño, pudiendo utilizarlos para ubicar nuestros equipos sin necesidad de realizar una nueva instalación (torre, caseta para equipos, energía eléctrica).

Las torres el de El Alto y Colquencha distan aproximadamente 46.70 Km. Para tal enlace realizaremos primero un Enlace punto a punto entre estos lugares ya mencionados de la siguiente forma:

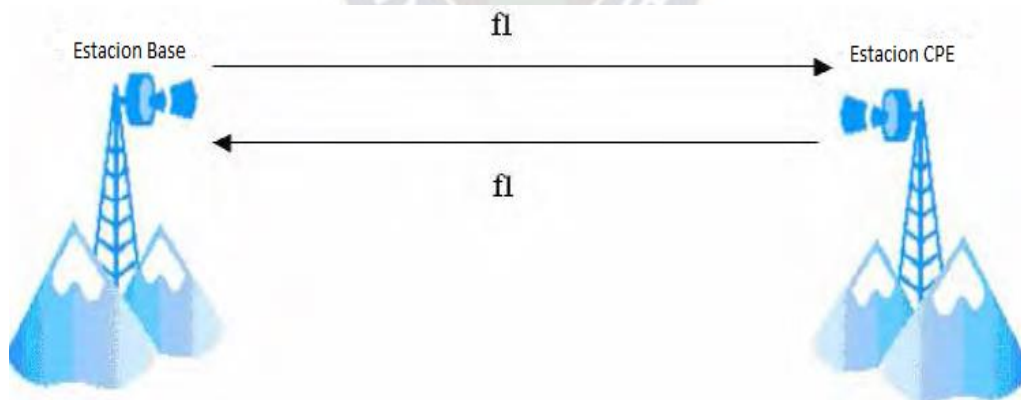


Figura 34: Enlace Punto a Punto
Fuente: <http://159.90.80.55/tesis/000134764.pdf>

Como se observa en las figuras anteriores se eligió lugares o puntos estratégicos tanto en la Ciudad de El Alto como el Colquencha, Las Estaciones Base a ser

instaladas son específicamente para cubrir el primer tramo del enlace que tiene como punto final una central en la torre del municipio.

4.2 METODOLOGÍA DE CUBRIR LOS MUNICIPIOS CON EL SERVICIO DE INTERNET

La metodología utilizada está basada en la propuesta para redes inalámbricas de largo alcance para países en desarrollo, contemplada en un estudio anterior hecho en el lugar, por cual se le han realizado algunas modificaciones de acuerdo a las simulaciones realizadas, y consta de los siguientes pasos:

- Obtención de las coordenadas geográficas de los establecimientos que conforman la red.
- Arquitectura de la red.
- Simulación de los radio enlaces RF de la red con ayuda de Radio Mobile
- Cálculo del presupuesto.

En principio será el primer requisito de solicitar un servicio de Internet Asimétrico de 20 Mbps con la operadora AXS del lado de la Estación Base en la torre El Alto, y luego se inicia con la asignación de los lugares donde se encontraran nuestros equipos tanto del ambos lados del El Alto y Colquencha.

Se inicia con la Recopilación de la información, es decir, realizar una visita técnica al lugar del cliente, para evaluar que equipamiento tiene actualmente en su red WLAN y red inalámbrica ambos adecuados para proporcionar el servicio de Internet. La parte técnico o planta externa asigna a un técnico para ir a sitio a Instalar y configurar las antenas en el lado del cliente. De manera paralela el Área de Transporte estará instalando las antenas correspondientes en la Radiobases, se realiza la alineación del Medio y se realiza un ajuste fino para asegurar la fiabilidad de la conexión del enlace.

Por último se realizan pruebas de Navegación (acceso a páginas web) verificando que la velocidad sea la correcta y una tabla de velocidades en horas picos en forma de testeo.

4.3 ASIGNACIÓN DE SITIOS Y RADIO DE COBERTURA

La elección de lugares a dar cobertura con el servicio de internet se detalla a continuación, realizamos una tabla con los lugares y sus características geográficas de las mismas dentro del Municipio de Colquencha y sus respectivas distancias hacia la torre ya que diseñaremos una topología de conexión con todos los lugares mencionados además deben contar con una línea de vista hacia la nueva AP que se hallara en la Torre de Colquencha.

4.3.1 DISEÑO DE LA RED

Como ya vimos anteriormente nuestro enlace inalámbrico cuenta con dos partes la primera que es enlace de El Alto hacia Colquencha, que será un enlace o topología punto a punto y la segunda es de un enlace punto a multipunto (AP hacia los clientes) determinado por la topología estrella, de acuerdo a nuestra simulación la información obtenida y valores a equipos cuyas características se han cercanos a los cálculos realizados.

4.3.2 COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LAS ESTACIONES PROPUESTAS

El primer paso a la hora de diseñar una nueva red es la determinación geográfica de cada uno de los nodos y puntos pertenecientes a nuestra red inalámbrica.

Para no incurrir en errores a la hora de determinar la localización exacta de los nodos de la red ha sido necesario utilizar un dispositivo GPS (Global Positioning System) y Google Earth con una tolerancia mínima de error, de manera que la determinación de las coordenadas geográficas de cada uno de los nodos sea lo más fiable para el estudio del proyecto.

Se ha realizado el desplazamiento a cada una de los lugares el municipio de Colquencha donde obtuvimos y recolectamos datos, a continuación mostramos en las siguientes ilustraciones y fotos de los sitios a instalarse con ayuda del Radio Mobile, para una buena decisión antes de su ejecución de acuerdo a los datos obtenidos en los cálculos realizados.



Figura 35: Torre La Paz-El Alto de Ciudad Satélite
Fuente: Elaboración Propia en base Google Earth

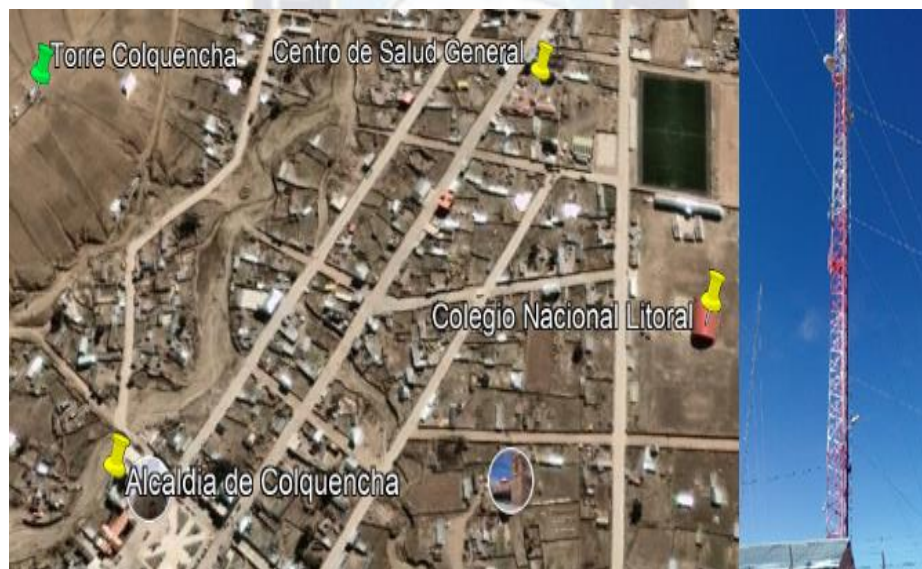


Figura 36: Torre Municipio de Colquencha
Elaboración: Propia en base a Google Earth

Lugares del enlace	Distancia entre los puntos	Latitud	Longitud
El Alto-La Paz	46,7 Km	16°31'12.88"S	68° 8'57.96"O
Cerro de Colquencha	46,7 Km	16°55'46.33"S	68°15'3.00"O

Tabla 15: Datos geográficos de enlace Punto a Punto
Fuente: Elaboración Propia con ayuda del Google Earth

Lugares dentro del Municipio	Distancia hacia la Torre de Colquencha	Latitud	Longitud
Alcaldía de Colquencha	0.33 Km	16°55'56.43"S	68°14'59.42"O
Centro de Salud	0.43 Km	16°55'49.17"S	68°14'49.06"O
U.M.S.A Fac. Técnica	0.94 Km	16°55'34.02"S	68°14'34.11"O
Colegio de Colquencha	0.70 Km	16°55'52.71"S	68°14'40.72"O
Colegio Max Toledo	1.93 Km	16°55'1.87"S	68°15'48.75"O
Colegio Machacamamarca	7.28 Km	16°52'44.48"S	68°12'25.53"O
Entidad Bancaria	0.37 Km	16°55'56.58"S	68°14'56.48"O

Tabla 16: Datos geográficos de enlace Punto a Multipunto

Fuente: Elaboración Propia con ayuda del Google Earth

4.4 SELECCIÓN DE FRECUENCIAS O BANDA DE FRECUENCIA

4.4.1 FRECUENCIA DE 2.4 GHz

La gama de frecuencias de 2,4 GHz es probablemente el más ampliamente utilizado en WLAN's. Se utiliza por los estándares 802.11, 802.11b, 802.11g, y las normas de IEEE 802.11n. El rango de frecuencias de 2,4 GHz puede utilizarse en WLAN's se subdivide en canales que van desde 2,4000 a 2,4835 GHz. En Estados Unidos se tienen 11 canales, cada canal tiene un ancho de 22 MHz. Unos canales se traslapan con los demás y causan interferencias. Por esta razón, los canales 1, 6, y 11 son los más comúnmente utilizados, ya que no se traslapan. De hecho, muchos productos inalámbricos, están sujetos a seleccionar solo uno de los tres canales. En la figura 37, se muestran los 11 canales, incluyendo los traslapes. Como se puede observar los canales 1, 6, y 11 no se traslapan.

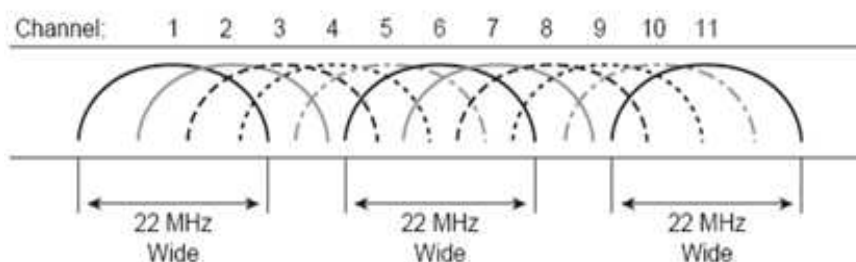


Figura 37: Canales de transmisión de las WLAN's

Fuente: <http://www.sss-mag.com/spectrum.html>

4.4.2 FRECUENCIA DE 5 GHz

La gama de 5 GHz es utilizado por el estándar 802.11a y el nueva norma 802.11n. En el estándar 802.11a, velocidad de transmisión de datos puede variar desde 6 Mbps a 54 Mbps. Dispositivos con 802.11a no se vieron en el mercado hasta el año 2001. El 5 GHz se subdivide en canales, 20 MHz de ancho cada uno. La gama de 5 GHz cuenta con un total de 23 canales no traslapados. La frecuencia de 5 GHz utiliza la Multiplexión por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM por sus siglas en inglés Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

4.5 ESTRUCTURA DEL DISEÑO

En esta etapa se debe técnicamente decidir la tecnología a emplear, así como la topología de red a implementar. Una de las condiciones que hemos puesto es que el acceso sea lo más económico posible, pero que a su vez sea confiable y fácil implementación.

La tecnología a emplear para nuestro ´proyecto de nuestro enlace inalámbrico es el WiFi y tomar en cuenta las recomendaciones 802.11n.

La topología a ser empleada es primeramente conexiones punto a punto a un nodo central y luego a ser utilizar es punto a multipunto, para llegar a los pueblos de las que depende el municipio de Colquenchá, centro el cual proveerá acceso a la red troncal, la cual facilitará el acceso a internet.

4.6 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROYECTO

A continuación mostramos la secuencia de pasos para realizar el proyecto:

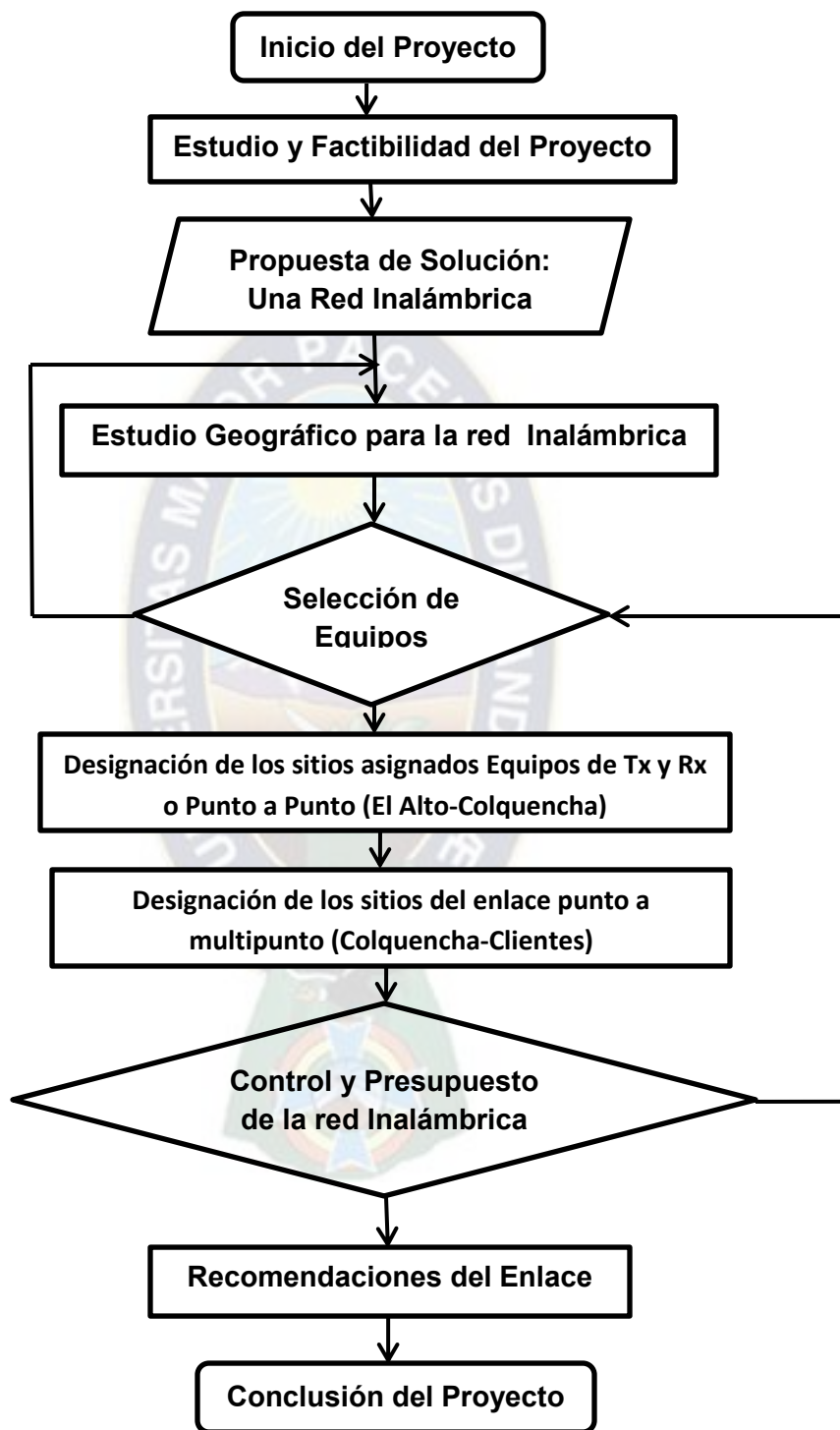


Grafico 3: Diagrama de Flujo del proyecto
Fuente: Elaboración Propia

4.7 DIAGRAMA DE TOPOLOGÍA DE LA RED

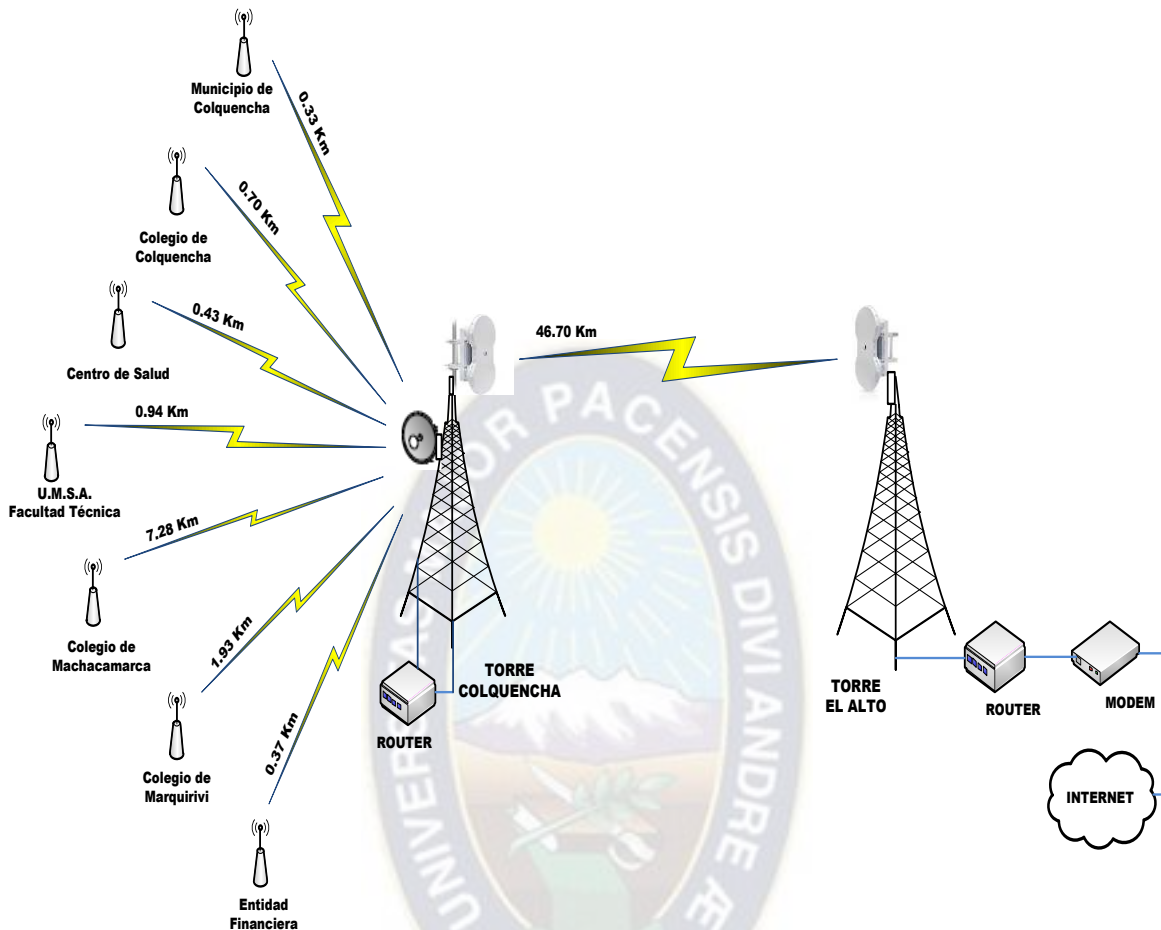


Figura 38: Topología y esquema del enlace y red inalámbrico
Fuente: Elaboración propia

4.8 ANALISIS DEL RADIO ENLACE

La red se diseñara en 802.11n de topología punto a punto, la cual se realizara el enlace troncal y nodo principal para proporcionar el servicio. Con ello y en función de las características como la distancia hacia los dos puntos y elegir los equipos que cumplan estas funciones ya mencionadas.

El Alto (Ciudad Satélite) hacia Municipio Colquenchá distancia de 46,78 Km.

En este enlace se debe asegurar la comunicación así como también garantizar y realizar un análisis del radio enlace, la cual la señal de la potencia de transmisión y tanto de la señal recepción sea próximo en cuanto a valores tanto de ida y vuelta.

4.8.1 POTENCIA DE Tx Y Rx

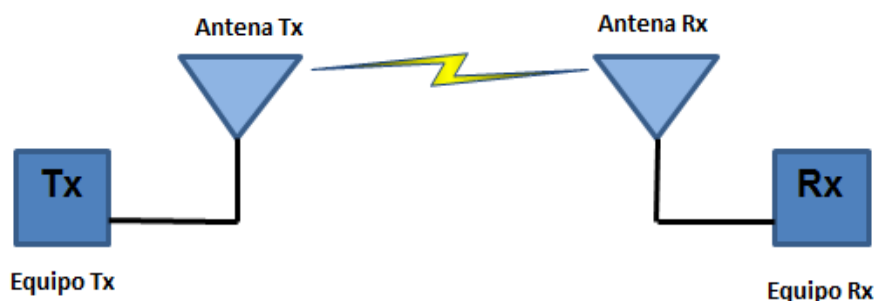


Figura 39: Esquema básico del Enlace Inalámbrico punto a punto
Fuente: Elaboración Propia

El equipo a emplearse es el AirFiber, es un dispositivo para enlaces Punto a Punto de Ubiquiti que opera en la banda de 2GHz y 5GHz, alcanza velocidades de más de 1Gbps, procesa más de 1 millón de paquetes por segundos, Frecuencia: 5GHz, 5,470-5,950MHz, Ganancia: 23dBi, Potencia: 24dBm. Arquitectura innovadora Antena-Dual que consiste en un sistema de antenas MIMO 2x2 doble independiente de esta ganancia, estar separadas la antena de Transmisión (Tx) y Recepción (Rx), ayuda a tener enlaces de largo alcance, a continuación algunas características destacadas del Equipo.

Modelo : AF-5U	
Máximo Consumo de energía	40W
Fuente de alimentación	50V, 1.2A Adaptador PoE
Método de alimentación	Passive Power over Ethernet (42-58V)
Temperatura de funcionamiento	-40 a 55 ° C (-40 a 131 ° F)
Puerto de red Gigabit Ethernet	10/100/1000 Mbps
Alcance máximo	100 + km
Ancho de banda del canal	100 MHz en Full-Dúplex y 50 MHz en Half-Dúplex
TX / RX Ganancia	23 dBi
Polaridad	Doble Polaridad Simultánea por Antena (Vertical y Horizontal)

Tabla 17: Características principales del Airfiber AF-5U
Fuente: Elaboración propia extraída del manual

4.8.2 SELECCIÓN DE FRECUENCIA O BANDA DE FRECUENCIA

La banda de frecuencia elegida y de disponibilidad en el municipio de Colquencha solucionara la canalización en la banda de 5.1 GHz a 5.8 GHz reguladas por la ATT. Las frecuencias licitadas en la entidad reguladora y cuyas bandas libres que dispone y operan en dichas frecuencias son 2.4 GHz y 5.8 GHz la cual la ATT dispone los siguientes rangos libres para alquilar.

Banda (GHz)	Número de Canales Operativo	Frecuencia Central de Canal (MHz)
Banda Inferior (5.150 - 5.250)	36	5.180
	40	5.200
	44	5.220
	48	5.240
Banda Media 1 (5.250 - 5.350)	52	5.260
	56	5.280
	60	5.300
	64	5.320
Banda Media 2 (5.470 - 5.725)	100	5.500
	104	5.520
	108	5.540
	112	5.560
	116	5.580
	120	5.600
	124	5.620
	128	5.640
	132	5.660
	136	5.680
Banda Superior (5.725 - 5.825)	140	5.700
	149	5.745
	153	5.765
	157	5.785
	161	8.505

Tabla 18: Banda de Frecuencia libres según la ATT
Fuente: Elaboración Propia

4.8.3 CALCULO CON RADIO MOBILE

4.8.3.1 LOCALIZACION DEL ENLACE EL ALTO – COLQUENCHA

Localización y altura de antenas y repetidores, se ha decidido utilizar torres con la menor altura posible a fin de reducir los costes de implantación de la solución propuesta, así como brindar mayor potencial de ejecución y variar el proyecto.

La mayor parte de las torres de antenas tiene una altitud de 42 y 30 metros, están ubicadas en lugares donde se cuenta con un suministro continuo de energía eléctrica, existe infraestructura de respaldo, acceso relativamente fácil para su realización y mantenimiento.

De acuerdo a la simulación la torre ubicada en El Alto es la única que cuenta con un alto mayor (30 metros) con el fin de proveer una distancia optima entre radios y evitar su mutua interferencia, así como mejorar los enlaces con cada uno de los nodos y evitar la zona de Fresnel.

Al existir en El Alto infraestructuras sub-utilizadas, se ha pensado en el alquiler de una parte de la torre, la cual no cuente con radios dentro del mismo espectro de frecuencia así poder enviar e irradiar hacia al cerro de Colquencha



Figura 40: Torre El Alto y sus respectivos datos del GPS (Torre-Auto soportada)
Fuente: Elaboración Propia



Figura 41: Torre Colquencha y su respectivos datos del GPS (Torre-Arriostrada)
Fuente: Elaboración Propia

4.8.3.2 ENLACE EL ALTO - COLQUENCHA

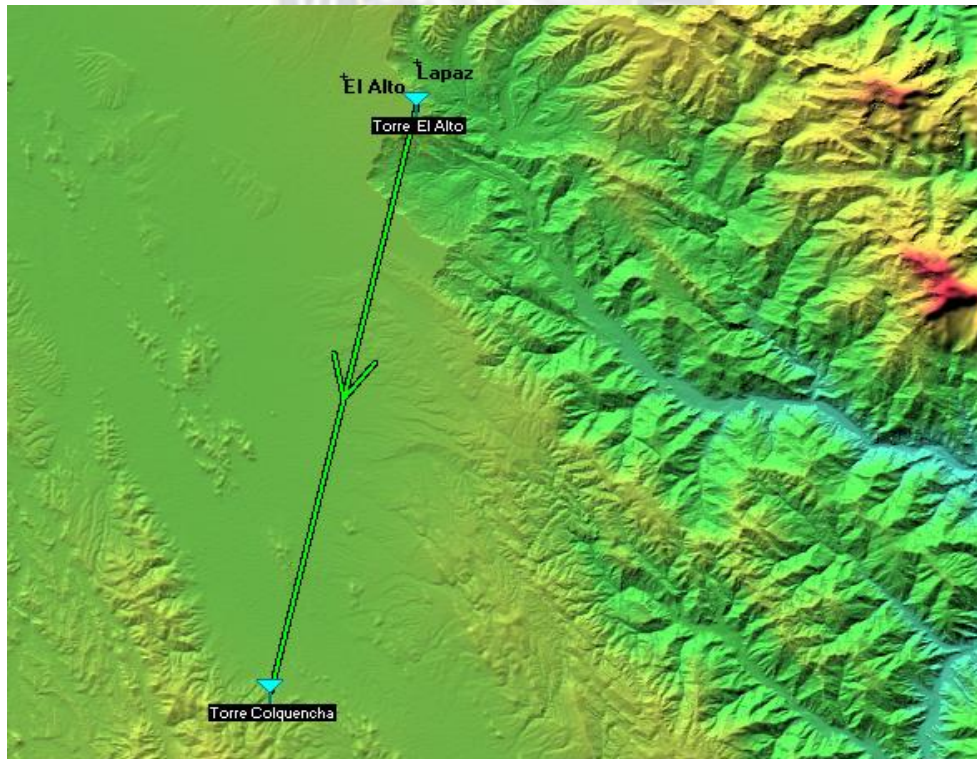


Figura 42: Enlace y vista de los puntos elegidos en mapa
Fuente: Elaboración Propia utilizando Radio Mobile

Simulación en Radio Mobile

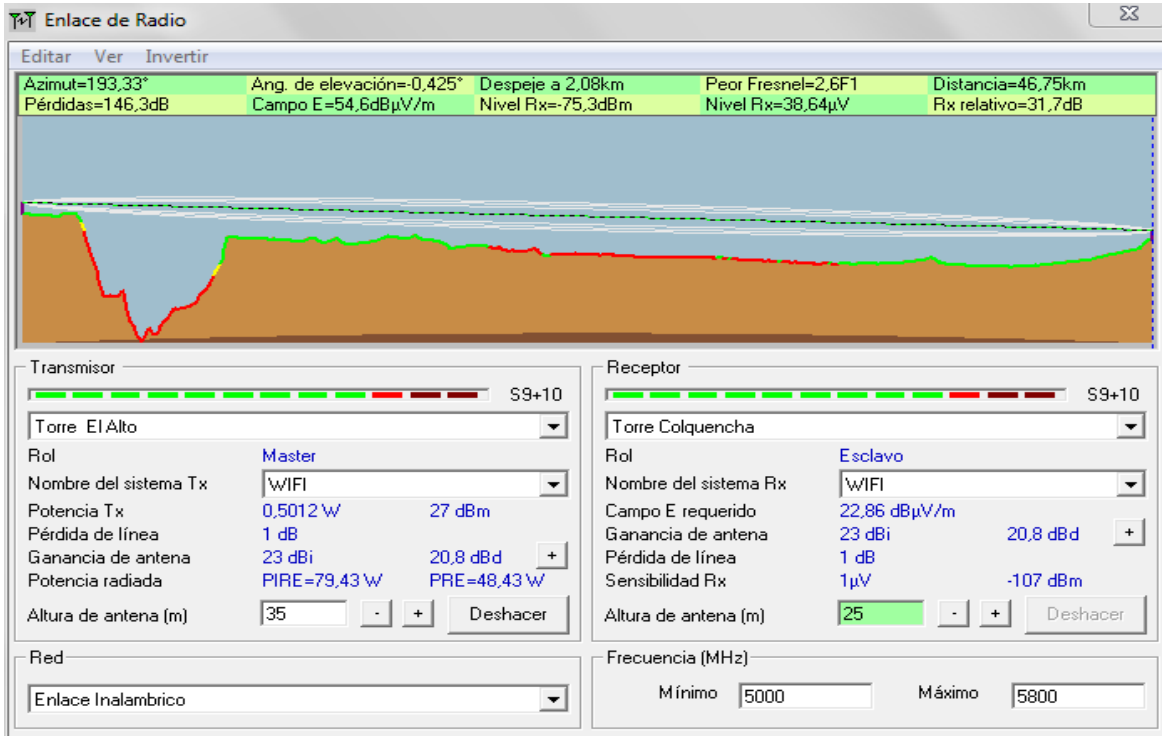


Figura 43: Datos y parámetros de enlace inalámbrico de Tx y Rx
Fuente: Elaboración Propia utilizando Radio Mobile

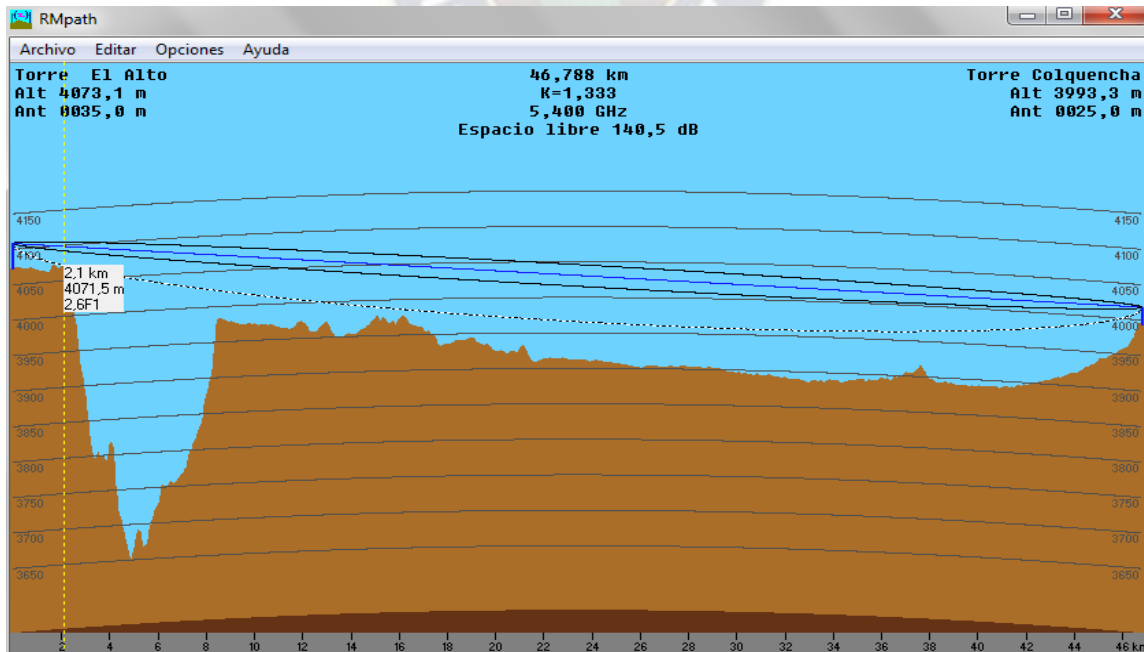


Figura 44: Primera Zona de Fresnel
Fuente: Elaboración Propia

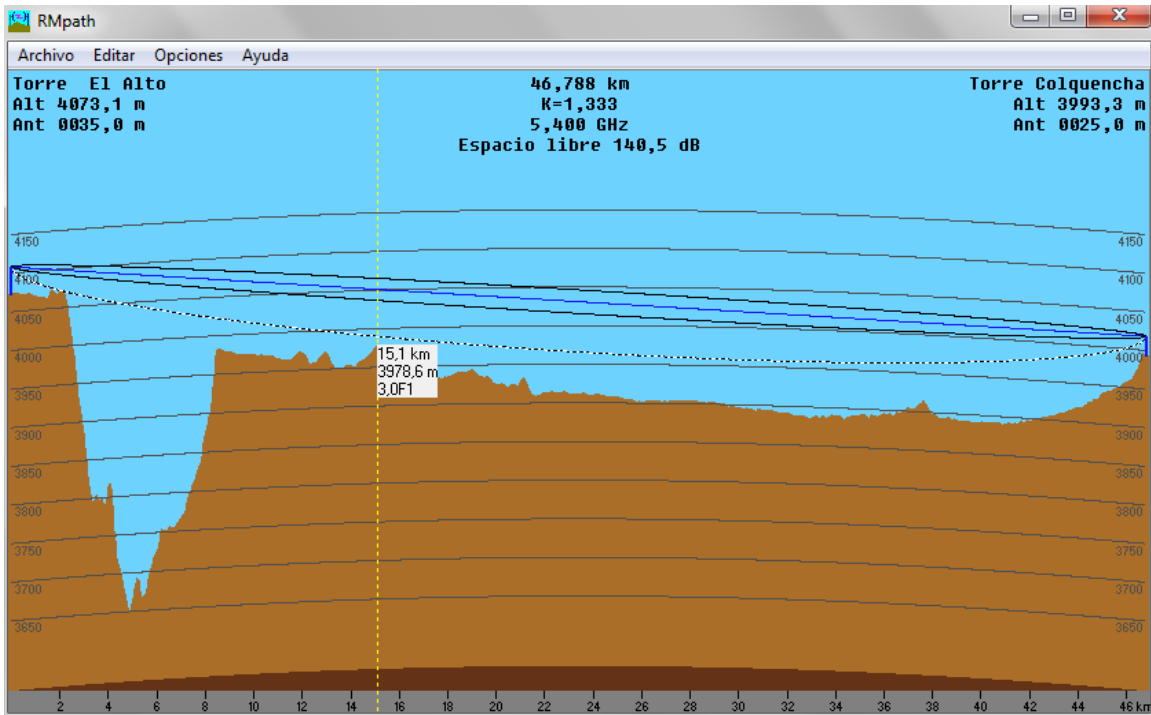


Figura 45: Segunda Zona de Fresnel
Fuente: Elaboración Propia

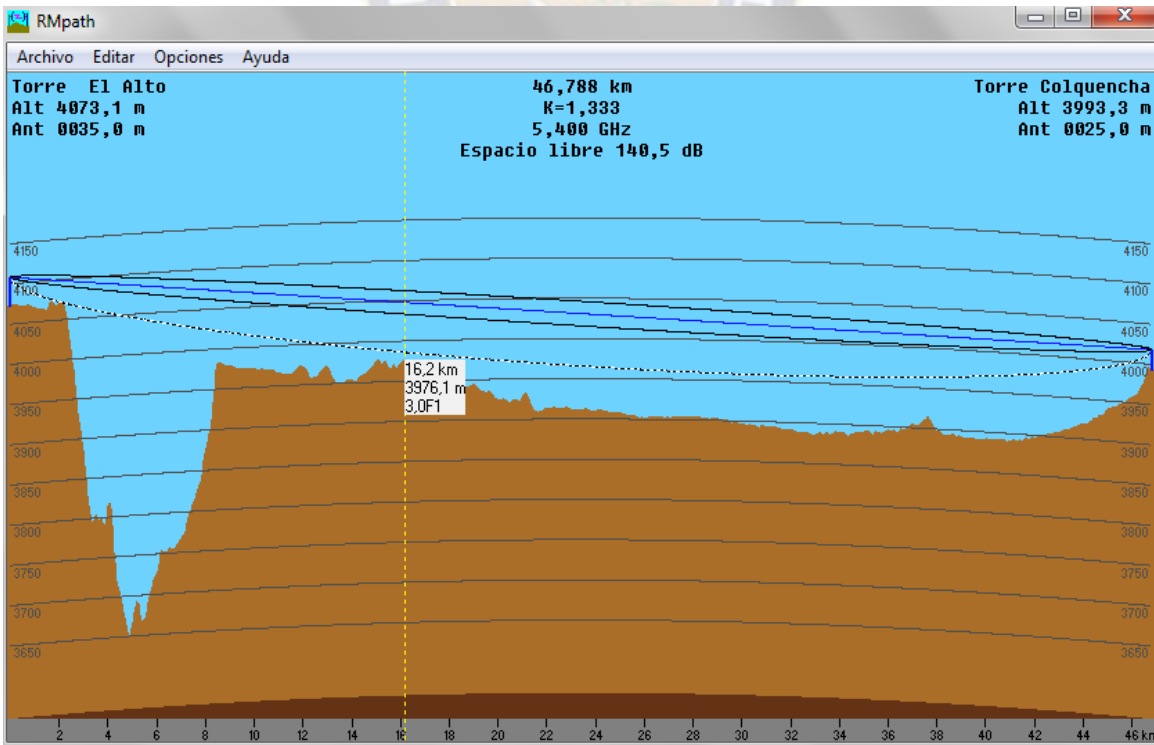


Figura 46: Tercera Zona de Fresnel
Fuente: Elaboración Propia

4.9 POTENCIA DE TRANSMISIÓN – RECEPCIÓN

La ecuación de Friis permite determinar la potencia de recepción en un dispositivo, basado en la potencia de transmisión, la ganancia de las antenas de recepción y transmisión y las pérdidas del sistema. Dichas pérdidas están relacionadas con el espacio libre (frecuencia y distancia), las guías de onda, cables y otras líneas de transmisión utilizadas, así como lluvia, reflexión, vegetación, gases y otros fenómenos.

Matemáticamente, se expresa de la siguiente forma:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - \sum A_i \quad (4.1)$$

Dónde:

P_{RX} : es la potencia de recepción (dBm).

P_{TX} : es la potencia de transmisión (dBm).

G_{TX} : ganancia de la antena transmisora (dBi).

G_{RX} : ganancia de la antena receptora (dBi).

A_i : pérdidas por espacio libre, difracción, etc. (dB).

4.9.1 PERDIDAS DE ESPACIO LIBRE

Las pérdidas de espacio libre se refieren a la atenuación de la potencia en la ruta del enlace, debido a la distancia recorrida y basada en la frecuencia de transmisión.

Matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

$$A_o = 32,45 + 20 \text{ Log } (d_{(Km)}) + 20 \text{ Log } (f_{(MHz)}) \quad (4.2)$$

o

$$A_o = 92,45 + 20 \text{ Log } (d_{(Km)}) + 20 \text{ Log } (f_{(GHz)}) \quad (4.3)$$

Donde,

$d_{(Km)}$: es la distancia entre el transmisor y el receptor en kilómetros.

$f_{(MHz)}$ y $f_{(GHz)}$: frecuencia de la señal en Mega Hertz y Giga Hertz, respectivamente.

Pérdidas o Atenuación de Espacio Libre:

Datos:

$f = 5,8 \text{ GHz}$

$d = 46,7 \text{ Km}$

Aplicando los datos en la ecuación (4.3)

$$A_o = 92.45 + 20 \text{ Log } (d_{(Km)}) + 20 \text{ Log } (f_{(GHz)})$$

$$A_o = 92.45 + 20 \text{ Log } (46.7) + 20 \text{ Log } (5.8)$$

$$A_o = 141.05 \text{ dB}$$

Potencia de Rx hacia Colquencha:

Datos:

$$P_{TX} = 27 \text{ dBm (Valor en el mejor de los casos)}$$

$$G_{TX} = 23 \text{ dBi}$$

$$G_{RX} = 23 \text{ dBi}$$

} Valores
de tablas

Donde convertimos los valores en dB aplicando: $\text{dB} = \text{dBi} - 2.14$

Reemplazando en la ecuación (4.1)

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - \sum A_i$$

$$P_{RX} = 27\text{dBm} + 20.86\text{dB} - 141.05\text{dB} + 20.86\text{dB}$$

$$P_{RX} = -72.33 \text{ dBm}$$

4.9.2 ESTUDIO Y CALCULO DE LA ZONA FRESNEL

Punto	Distancia desde la Torre El Alto	Altura	Elevación
Torre El Alto	0 Km	4073.1 m	35
1	2.1 Km	4071.5 m	
2	15.1 Km	3978.6 m	
3	16.2 Km	3976.1 m	Punto Critico
Torre Colquencha	46.78 Km	3993.3 m	25

Tabla 19: Valores y datos para el cálculo de la Zona de Fresnel
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos del punto crítico analizamos y reemplazamos:

$$Rfn = 17.32 \sqrt{(d1 * d2) / (f * d)} \quad (4.4)$$

$$d_1 = 16.2 \text{ Km}$$

$$d_2 = 46.7 \text{ Km} - 16.2 \text{ Km} = 30.5 \text{ Km}$$

$$R_{f1} = 17.32 \sqrt{(16.2 * 30.5) / (5.8 * 46.78)} = 23.36 \text{ m}$$

Perfil de trayectoria

K=2/3 para enlaces críticos hacia arriba de 0,6 F1

$$h_t = \frac{d_1 * d_2}{12.74 * K} \quad (4.5)$$

$$h_t = (16.2 * 30.5) / (12.74 * (2/3)) = 58.17$$

Calculo de altura de torres

$$\Delta h = h_1 - d_1/d * (h_1 - h_2) - h_o - h_t$$

$$h_1 = 4073.1 + 35 = 4108.1 \text{ m}$$

$$h_2 = 3993.3 + 25 = 4018.3 \text{ m}$$

$$h_o = \text{altura punto crítico} = 3976.1 \text{ m}$$

$$\Delta h = 4108.1 - (16.2/46.7)(4108.1 - 4018.3) - 3976.1 - 58.2 = 42.6$$

Reemplazando en la ecuación:

$$X = \Delta h - R_{f1} \quad (4.6)$$

$$X = 42.6 - 23.36 = 19,24$$

Con los datos obtenidos de los cálculos previos hechos, podemos y logramos conseguir una óptima simulación en cuanto a la Potencia de transmisión y de recepción, así como la altura que deben tomar en situar de los equipo en las torres y así evitar la zona de Fresnel tomando en cuenta los resultados para nuestro enlace inalámbrico.

CAPITULO V
ANALISIS DE COSTOS

5.1 COMPRA DE EQUIPOS DE TELECOMUNICACION

Uno de los principales factores o aspectos para que nuestro proyecto sea viable para su posterior implementación es el Análisis de Costos, los cuales al momento de su verificación para aquella empresa o gobernación, pueda cubrir los gastos que implica la puesta en marcha de este proyecto, como así del servicio que se brindará a los habitantes del municipio sea auto sostenible en el tiempo.

A continuación detallaremos los precios y otros adicionales, les mostramos en tablas con su costo parcial y total:

Ítem	Equipo y Descripción	Cantidad	Precio Unitario Bs	Precio Total Bs
1	Ubiquiti-Airfiber 5ghz *frecuencia 5ghz *radio gigabit full Duplex *punto a punto *antenas (2) 23dbi *potencia 50dbm *1.2gbps *puerto eth (2) *alcance 100+km	2	10680	21360
2	Ubiquiti-Nanostation loco m5 *frecuencia 5ghz *antenas internas 13dbi *23dbm *Throughput 150 mbps *1 puerto eth 10/100mbps *alcance 10+km * interior/externo	8	616	4928
3	Ubiquiti-Edgerouter x *5 puertos gigabit *avanzado *soporta vpn ipsec *vlan *ipv6 *interfaz gráfica y por cli *control de ancho de banda *poe in eth1 /poe out eth4	2	511	1022
4	Siemens*utp-cat-6*300 metros	1	1100	1100
5	caja de herramientas (alicate crimpador, juegos de desarmadores y de alicates, estiletes, arnés de seguridad)	1	1800	1800
6	Amp-conectores rj-45	50	4	200
7	Gabinete de 12u 4 puertas	2	900	1800
8	Ups-dlux, entrada 145-275 vac, salidas 220 vac	2	630	1260
			TOTAL	33470

Tabla 20 : Costo detallado de los Equipos
Fuente: Elaboración Propia

5.2 ESPACIO FISICO PARA EL ENLACE O INFRAESTRUCTURA

Acá detallaremos de ambientes que ocuparemos para nuestro enlace troncal para lo cual, solicitaremos el uso de dos torres existentes y que ya se coordinó y cotizo el alquiler para nuestro proyecto.

Ítem	Descripción	Precio de alquiler Mes (Bs)	Precio Alquiler Año (Bs)
1	Torre Auto soportada de 42 metros de altura, ubicación El Alto-zona Satélite (incluye espacio físico y energía eléctrica)	500	6000
2	Torre Arriostrada de Entel de 30 metros de altura, ubicación Cerro de Colquencha	1200	14400
		TOTAL	20400

Tabla 21: Costo de Alquiler de las Torres
Fuente: Elaboración Propia

5.3 COSTO Y USO DE LA FRECUENCIA

Mencionar que es importante hacer un hincapié al uso de las bandas de frecuencia no licenciadas, según normas internacionales para nuestro enlace inalámbrico. Pero según ATT debemos asegurar que el uso de nuestra frecuencia nos sea interferida por otra señal o frecuencia y pagar el uso de tal como a continuación detallamos.

Servicio de Distribución de Señales	Costo en Bs
Por canal de uso de frecuencia 5,8 GHz	1643

Tabla 22 : Costo del Uso de frecuencia
Fuente: Elaboración Propia según normas de la ATT

5.4 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los costos de operación y de mantenimiento son los gastos que afrontará y se refieren a los gastos en los que se incurre simplemente por poner en marcha el proyecto, la mano de obra y las personas especialistas en realizar el estudio y cálculos ponerlos en práctica en nuestro Enlace Inalámbrico troncal.

Ítem	Descripción	Personal Técnico (Mano de Obra)	Costo Unitario en Bs.	Costo Total en Bs.
1	Instalación de equipamiento y apuntamiento en las torres (Equipos Ubiquiti y router)	2	400	400
2	Instalación y Configuración del radioenlace punto a punto y punto a multipunto	1	150	1200
3	Instalación interior gabinete y ordenamiento de la conexión de ups y energía eléctrica	1	150	150
4	Monitoreo y mantenimiento del enlace y el servicio de internet	1	100	100
			TOTAL	1850

Tabla 23: Costos de operación y mantenimiento
Fuente: Elaboración Propia

5.5 RECURSOS HUMANOS Y OTROS GASTOS

Los costos de operación son generados durante el periodo en el que el proyecto se encuentra en funcionamiento y constituyen un elemento clave para la sostenibilidad financiera del proyecto. Como pueden ser impuestos locales y prediales, gastos de electricidad y agua, costos de operación de vehículos (especialmente cuando el vehículo se usa para más de una actividad, y por lo tanto no se puede asignar como costo operativo específico).

En efecto, para mantener la operatividad de los servicios en el municipio es necesario cubrir los costos de operación y mantenimiento así como también del personal que se hará cargo de una eficiente atención del servicio durante el año, que a continuación detallamos en la siguiente tabla.

Número de personas	Descripción del personal	Sueldo personal mensual Bs.	Sueldo anual en Bs.
1	Técnico capacitado para la instalación	3000	36000
1	Chofer	2500	30000
1	Secretaria	2000	24000
	Gastos en movilidad y viáticos	200	2000
		TOTAL	92000

Tabla 24: Personal de trabajo y los costos anuales
Fuente: Elaboración Proyecto

5.6 COSTO Y PRECIOS AL PROVEEDOR DE SERVICIO DE INTERNET

A continuación mencionamos los proveedores del servicio de internet para que sea en nuestro proyecto sea y el ISP (Proveedor de Servicio de Internet) con la cual trabajaremos teniendo en cuenta la factibilidad técnica para su uso.

Empresa	Tecnología	Velocidad Down hasta (Mbps)	Velocidad Updown (Mbps)	Tarifa mensual (Bs)	Horas Disponibles
Entel	Fibra Óptica	20	10	1238	Ilimitado
AXS	VDSL	20	10	899	Ilimitado
Tigo	Hibrida Fibra Coaxial	20	3	620	Ilimitado
COTAS	ADSL	18	3	972	Ilimitado

Tabla 25: Lista de proveedores de Internet
Fuente: Elaboración Propia de planes de las Operadoras

5.6.1 ELECCIÓN DEL PROVEEDOR IPS

Mostramos la tecnología y operadora a trabajar, la elección es AXS y detallamos el costo anual que nos demandara su uso.

Empresa	Tecnología	Tarifa mensual (Bs)	Tarifa anual (Bs)
AXS	VDSL	899	10788

Tabla 26: Costo Anual del servicio del proveedor (IPS)
Fuente: Elaboración Propia

5.7 TABLA GENERAL DE PRECIOS Y COSTOS DEL PROYECTO

Compra de Equipos (Bs)	33470
Infraestructura (Bs)	20400
Costo y Uso de la Frecuencia (Bs)	1643
Operación y Mantenimiento (Bs)	1850
Recursos Humanos y otros gastos (Bs)	92000
Costo y Precios al Proveedor de Servicio de Internet (Bs)	10788
TOTAL (Bs)	160151

*Tabla 27: Cuadro resume de costos del Proyecto
Fuente Elaboración Propia*

5.8 PAQUETES DEL SERVICIO HACIA LOS CLIENTES

Acá ofrecemos y mostramos en plan que el cliente puede optar o elegir para su uso final con sus respectivos precios.

Planes de Velocidad	512 Kbps	1 Mbps	2 Mbps	4 Mbps
Tarifa Mensual (Bs)	180	300	400	500

*Tabla 28: Planes del servicio de Internet
Fuente: Elaboración Propia*

5.9 VALOR FUTURO DE INVERSIÓN DEL PROYECTO

Empezamos con 7 Usuarios por 12 meses.

$$7 \times 12 = 84 \text{ suscriptores (Instalaciones por Año)}$$

Calculamos la cantidad por velocidad mínima ofrecida hacia los suscriptores.

$$180 \times 84 = 15120 \text{ Bs.}$$

$$V_f = V_o (1 + f_c)^n \quad \text{Ecuación (5.9)}$$

V_f = Valor final o ingreso final del proyecto

V_o = Valor inicial o ingreso inicial del proyecto

f_c = Factor de crecimiento Anual 10% = 0.1

n = Numero de año hasta 8 años

Reemplazando:

$V_0 = 15120$ Bs

$V_f = 16632$ Bs

A continuación mostramos los resultados y valores finales e iniciales en el transcurso de 8 años:

Valor futuro de una inversión	Valor Inicial (V_0) en Bs.	Valor Futuro (V_f) en Bs.
1	15120	16632
2	16632	20125
3	20125	26786
4	26786	39217
5	39217	63160
6	63160	111892
7	111892	218045
8	218045	467400

Tabla 29: Ingresos del proyecto estimado para 8 Años
Fuente: Elaboración Propia

5.10 COSTO FINAL DE CADA AÑO POR EL LAPSO DE 8 AÑOS

Proyección (Años)	1	2	3	4	5	6	7	8
Operación y Mantenimiento (Bs)	1850	1850	1850	1850	1850	1850	1850	1850
IPS (Proveedor de Servicio de Internet) (Bs)	10788	11117	11446	11775	12104	12433	12762	13091
Personal por Año (Bs)	92000	92000	92000	92000	92000	92000	92000	92000
Costo total por Año (Bs)	104638	104967	105296	105625	105954	106283	106612	106941

Tabla 30: Costo final de cada año
Fuente: Elaboración propia

5.11 COSTOS DE APRECIACIÓN Y DEPRECIACIÓN:

Proyección	Inversión	Depreciación	1	2	3	4	5	6	7	8
Infraestructura (Bs)	20400	1.7 %	20053	19712	19377	19048	18724	18406	18093	17785
Equipos (Bs)	33470	5.9 %	31495	29637	27888	26243	24695	23238	21867	20577
Activos de Oficina (Bs)	2400	6.8 %	2237	2085	1943	1811	1688	1573	1466	1366
Total Gastos (Bs)	56270		53785	51434	49208	47102	45107	43217	41426	39728

Tabla 31: Costo final tomando en cuenta la depreciación
Fuente: Elaboración propia

5.12 INGRESO POR AÑO

Proyección	Ingreso al final de cada año (Bs)	Ingreso de dos años (Bs)
Año 0	-160151	
Año 1	16632	20125
Año 2	16632+20125	36757
Año 3	36757+26786	63543
Año 4	63543+39217	102760
Año 5	102760+63159	165920
Año 6	165920+111892	277812
Año 7	277812+218045	495857
Año 8	495857+467400	963257

Tabla 32 : Costo Total de dos primeros años
Fuente: Elaboración propia

5.13 VAN O VALOR ACTUAL NETO

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FN_j}{(1+i)^j} \quad \text{Ecuación (5.13)}$$

Veamos los componentes de la fórmula del VAN o Valor Actual Neto y su representación:

FN_j = representa los flujos de caja en cada periodo t.

I₀ = es el valor del desembolso inicial de la inversión.

n = es el número de periodos considerado.

i = es el costo del capital utilizado

5.14 TIR O TASA INTERNA DE RETORNO

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

Ecuación (5.14)

Para la siguiente fórmula, describimos a continuación la representación de sus componentes.

Donde:

Fn = es el flujo de caja en el periodo n.

n = es el número de períodos.

i = es el valor de la inversión inicial.

PROYECCION	lo	1	2	3	4	5	6	7	8
INGRESOS (Bs)		20125	36757	63543	102760	165920	277812	495857	963257
DEPRECIACION (Bs)		53785	51434	49208	47102	45107	43217	41426	39728
COSTOS (Bs)		104638	104967	105296	105625	105954	106283	106612	106941
FLUJO DE CAJA (Bs)	-160151	-138298	-119644	-90961	-49967	14859	128312	347819	816588

Tabla 33: Flujo Neto de Cajas

Fuente: Elaboración Propia

Reemplazando en la ecuación 5.13

FN_j = En la tabla anterior datos dentro del color celeste

Io = -160151 (inversión Inicial)

n = 8 (tiempo estimado 8 años)

i = 8%

VAN = 64 064,81

Reemplazando en la ecuación 5.14

F_n = En la tabla anterior datos dentro del color celeste

n = 8 (tiempo estimado 8 años)

i = 8%

TIR= 15%

Según los resultados que obtuvimos del VAN y TIR, a través de la hoja de cálculo Excel, concluimos que económicamente nuestro proyecto es viable y rentable a lo largo del plazo estimado y propuesto para ser implementado.

Entonces mencionar la forma de obtener el financiamiento ya sea gubernamental o en este caso que el Municipio de Colquencha, participe de forma directa o con parte de la inversión de la ejecución del proyecto, ya que traerá como dijimos muchos beneficios en su población por consiguiente cumple con un servicio de orden social.

También invitar a empresas privadas logre esa visión de poder ingresar con este servicio a estas zonas rurales y puedan apostar e invertir en proyectos como el nuestro y con este servicio llegar al municipio sin antes mencionar que es un proyecto rentable económicamente y largo de unos años recuperar lo invertido y también generar ganancia y sea auto sostenible.

CAPITULO VI

CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El presente proyecto de grado realizó el estudio de factibilidad, para Municipio de Colquencha, que siendo una población rural con la carencia y necesidades de Internet, se lograra por medio de la tecnología WiFi, a su vez la topología de la red diseñado que es posible y factible con los resultados obtenidos, y que el Municipio cuente con una ancho de banda y logre una administración eficiente y los centros educativos alcancen una educación aceptable con las Tecnología de Información y Comunicación.
- Los presupuestos y costos analizados en nuestro proyecto reafirman que económicamente es viable y sostenible en el tiempo, tomando en cuenta las necesidades actuales y sujetas a sugerencia como a nuevas tecnologías implícitas y de beneficio para la comunidad como VOIP, Video Vigilancia y Aulas Virtuales, para su posterior implementación.
- Se realizó y diseño un análisis de las características técnicas a emplear y el estándar 802.11n, así como los equipos a emplear de la familia Ubiquiti, con la cual trabajaremos como también de la frecuencia según la normativa regulada por la ATT de nuestro país, la velocidad que nos brindara el ISP que es 20 Mbps, que por su robustez y ancho de banda, pueda cubrir en primera instancia la necesidad de los potenciales clientes y usuarios del servicio y así puedan integrarse al amplio mundo de las comunicaciones, informaciones y educación por medio del internet, de esa forma acortar la brecha digital existente entre la educación urbana y rural.
- Mencionar que se simulo y definió, los enlaces inalámbricos hacia los sitios geográficos propuestos en el proyecto teniendo en cuenta nuestro AP ubicada en el cerro de Colquencha, midiendo los principales obstáculos como línea de vista y el servicio de internet como la cobertura que se brindara al municipio, así pueda ser un enlace mínima en pérdidas y evaluar las zonas de Fresnel de trayecto con ayuda de programas como el Radio Mobile y Google Earth.

- Con la realización del proyecto se obtuvo y consideró que los enlaces inalámbricos de este tipo para zonas andinas de nuestro país son realizables, debido a su topografía montañosa y son más sencillas de concretarse e implementarse que a comparación del llano, es por tal motivo que el municipio de Colquencha, sin duda es una opción adecuada técnicamente para su posterior implementación.

6.2 RECOMENDACIONES

- Antes de su implementación, hemos demostrado que la red inalámbrica al municipio de Colquencha, es sostenible y que el proyecto en sí debe contar del apoyo de tres pilares tanto del Municipio, de la empresa proveedora y los usuarios o pobladores del lugar para su adaptabilidad a la tecnología.
- Evaluar el diseño del proyecto, para que en un futuro poder modificarlo o ampliarlo y que el principal beneficiario sean los pobladores del municipio.
- Es necesario que el estado boliviano cuente con políticas claras en el campo de las telecomunicaciones, gobierno central, prefecturas y municipios, para que zonas rurales puedan contar de manera económica, rápida y eficiente con las tecnologías de información y comunicación.
- Mencionar que para realizar enlaces inalámbricos, requerimos de datos geográficos, así como de las torres de telecomunicación instaladas en el país, donde se puedan buscar esos datos geográficos o exista una lista actualizada de la misma.
- Existe la posibilidad de comprar los equipos a ser utilizados en el presente proyecto, del exterior del país así reducir costos y lograr ahorrarse en aranceles, diferir pagos y agilizar procedimientos de las operaciones internacionales con la aduana nacional.

BIBLIOGRAFIA:

Ing. Jorge L. Carranza Lujan (2008). Redes Inalámbricas. Instalación y Configuración. Lima – Megabyte.

Zeus Kerravala (2015). La evolución de WiFi impulsa la necesidad de contar con redes multigigabit. España.

Rob Flickenger (2008). Redes inalámbricas en los países en desarrollo. Editorial Gran Bretaña.

PAGINAS WEB:

<http://autonomias.gobernacionlapaz.com/sim/municipiopdm.php?mn=25>

<http://www.networkworld.es/wifi/80211-estandares-de-wifi-y-velocidades>

<http://wndw.net/>

<https://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>

<https://es.scribd.com/document/261629874/Tecnologia-MIMO>

<http://www.ieee802.org/11>

https://es.wikipedia.org/wiki/Red_inalámbrica

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70218/fichero/2.Tecnolog%C3%ADas+Inal%C3%A1mbricas.pdf>

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11761/fichero/Volumen1%252F7-Cap%C3%ADtulo3++Redes+inal%C3%A1mbricas+de+%C3%A1rea+local+%28WLAN%29.pdf>

<http://www.ticbeat.com/tecnologias/como-acceder-internet-desde-zonas-rurales-mas-remotas/>

http://www.grc.upv.es/calafate/download/Cicomp07_Estandar80211n.pdf

<http://www.sss-mag.com/spectrum.html>

<http://159.90.80.55/tesis/000134764.pdf>

<http://www.newswireless.net>

GLOSARIO DE TERMINOS

IEEE: (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

TIC: Tecnologías de la Información y Comunicación

UIT: Unión Internacional de Telecomunicación

IGM: Instituto Geográfico Militar

ATT: Autoridad de Transporté y Telecomunicación

SSID: (Service Set Identifier) Identificador de conjunto de servicios.

TDD: (Time Division Duplexing)

FDD: (Frequency Division Duplexing)

WIBRO: Wireless Broadband Technology

GPS: Global Positioning System

OFDMA: (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencias.

WEP: (Wired Equivalent Privacy)

MAC: (Medium Access Control)

OSI: (Open Systems Interconnection)

PHY: (Physical Layer) Capa 1 del modelo de capas del modelo OSI.

FHSS: (Frequency Hopping Spread Spectrum) Espectro Esparcido por Salto de Frecuencia.

DSSS: (Direct Sequence Spread Spectrum) Espectro Esparcido por Secuencia Directa.

OFDM: (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).Modulación por división de frecuencias ortogonales.

MAC: Control de Acceso al Medio.

LLC: Control lógico de enlace.

CRC: Cyclic Redundancy Check

CSMA: (Carrier Sense Multiple Access) Acceso múltiple con detección de portadora.

Ethernet: Es la tecnologia de red local

DECT: Digital Enhanced Cordless Telephone.

ACK: (Acknowledgement). Acuse de Recibo.

TDMA: (Time Division Multiple Access) Acceso Múltiple por División de Tiempo.

CCK: Complementary Code Keying

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

WDS: Wireless Distribution System

STBC: Space-Time Block Coding

LDPC: Low Density Parity Code

PSMP: Power-Save Multi-Poll

QoS: (Quality of Service) Calidad de Servicio.

WDS: Wireless Distribution System

RTS: Ready to Send

WIMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access,

CTS: Clear to Send

MIMO: (Multiple-Input Multiple-Output) Múltiples entradas, múltiples salidas.
Técnica para mejorar el rendimiento de un sistema inalámbrico.

SNR: (Signal to Noise Ratio). Relación Señal Ruido.

SISO: Single Input, Single Output

MISO: Multiple Input, Single Output

SIMO: Single Input, Multiple Output

STC: Space-Time Coding

BER: (Bit Error Rate). Medida de Errores en una Comunicación.

STTS: Space-Time Trellis Coding

STBC: Space-Time Block Coding

DSP: Digital Signal Processor

UNII: Unlicensed-National Information Infrastructure

UMTS: (Universal Mobile Telecommunication System)

BLAST: (Bell Laboratorio Architecture Layered Space-Time)

PARC: (Per Antenna Rate Control)

SPARC: (Selective Per Antenna Rate Control)

LOS: (Line of Sight). Línea de Vista.

NLOS: (Non-Line of sight) Sin línea de vista

DELAPAZ: Distribuidora de Electricidad de La Paz

4G: Cuarta Generación

GPS: (Global Positioning System)

IPS: (Internet Service Provider) Proveedor de Servicios de Internet.

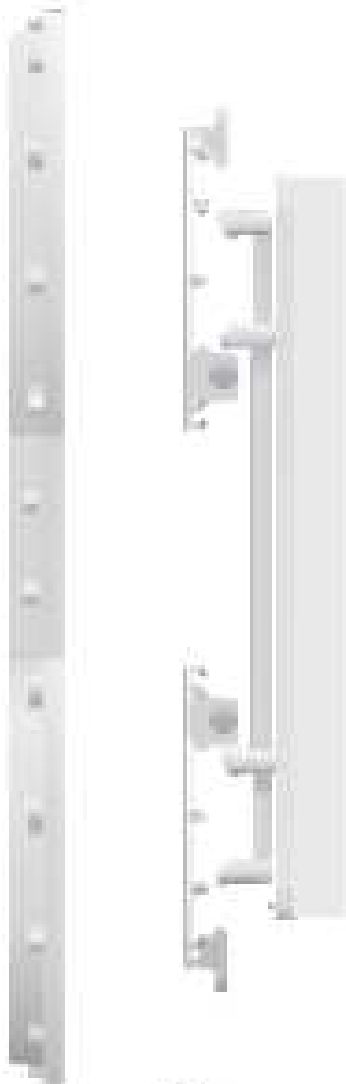
ANEXOS

airFiber[®] 5

airFiber[®] 5U

There are two airFiber models available for the 5 GHz spectrum. The mid-band model, AF-5, features the popular mid-band frequencies, which are freely used in many parts of the world.

The high-band (5.7-6.2 GHz) model, AF-5U, has robust filtering to enable co-location with devices operating in the lower 5 GHz bands while allowing operation at a higher output power in many areas of the world.



Side



Rear

1.2+ Gbps
Real-Data Throughput

((5 GHz))

100+ km
— xRT —
Extreme Range Technology

HDD
TDD FDD

Innovative Proprietary Modem Technology

Ubiquiti's innovative proprietary modem technology was purpose-built to address the specific challenges of outdoor, P2P (Point-to-Point) bridging and high-performance network backhaul. Every aspect of the radio has been carefully simulated and designed to optimize range, speed, and latency performance in the harshest RF noise environments.

Synchronous Data Transmission and Reception

Conventional wireless standards impose latency by having to receive a packet before a packet is transmitted. airFiber can transmit data synchronously with out any wait time. airFiber features traditional TDD and FDD modes of operation in addition to the proprietary Hybrid Division Duplexing (HDD) mode, which provides a breakthrough in range and spectral efficiency performance.

Based on the ranging algorithm built into the air protocol, the airFiber radios use patent-pending HDD technology to calculate the propagation delay and know when each radio can transmit and receive, so they send packets in precise synchronization. Packet transmission latency is virtually eliminated.



airFiber AP-5AP-5U Radios in Full-Duplex Mode



airFiber AP-5AP-5U

Innovative Dual-Antenna Architecture

airFiber features a dual-independent, 2x2 MIMO, high-gain reflector antenna system. Separate yet integrated transmit (TX) and receive (RX) antennas help expand link budgets by eliminating the extra RF losses caused by the switches or duplexers required in systems with common TX/RX antennas.

Network Management

airFiber supports a variety of features to help you manage your network:

- Network management options & choice between the greater security of out-of-band management and the convenience of in-band management.
- SNMP support: Full SNMP support to aid in network management.
- Local and remote airFiber status information: Available on the Main tab of the airFiber Configuration Interface.



airFiber AP-24 shown without radome

airFiber[®]

Revolutionary Wireless Technology

Introducing airFiber[®], a truly revolutionary Point-to-Point wireless platform from Ubiquiti Networks. Housed in a compact, highly efficient form factor, airFiber delivers amazing wireless gigabit performance, low latency, and long range. airFiber offers the new era in price-disruptive wireless technology, ideal for carrier backhaul, building-to-building enterprise use, or public safety applications.

Efficient by Design

Every detail of airFiber was designed and engineered by the Ubiquiti R&D Team. From the silicon chip up to the innovative apt-antenna architecture, the Ubiquiti R&D Team created airFiber to deliver superior throughput with efficiency. airFiber was purpose-built to create a high performance backhaul.

Plug and Play Deployment

Based on Ubiquiti's innovative and intuitive aircOS, the airFiber Configuration Interface enables quick deployment. With installation efficiency in mind, the mechanical design allows easy installation by one person. A two-person installation crew can effectively install and align an airFiber link.

To fine-tune the alignment, the received signal levels can be conveniently accessed via any of these methods:

- airFiber LED display
- airFiber Configuration Interface
- Audio tone feature

Designed for Freedom

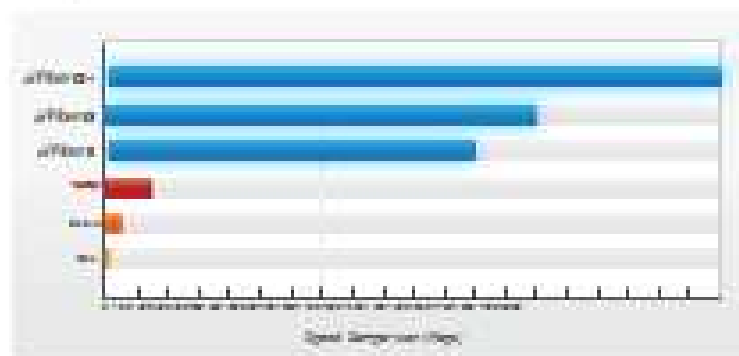
airFiber operates in worldwide, license-free, 24 or 5 GHz frequencies. Anyone around the world can purchase and operate airFiber without any special permits, paperwork, or added licensing costs. Users are free to locate, deploy, and operate airFiber practically anywhere they choose (subject to local country regulations).

Model	Frequency	Operating Frequency ¹
AF-5	Mid-band 5 GHz frequencies	5470 - 5850 MHz
AF-5U	High-band 5 GHz frequencies	5725 - 6200 MHz
AF-24/AF-24HD	24 GHz frequencies	24.05 - 24.25 GHz

¹ Refer to the Specifications section for more information.

Built for Speed and Range

airFiber delivers gigabit performance at 1.2+ Gbps for airFiber AF-5/AF-5U, 1.5+ Gbps for airFiber AF-24, and 2 Gbps for airFiber AF-24HD. To put this in perspective, airFiber can transmit a 100 MB file in less than a second. Rivaling corporate broadband providers, airFiber download speeds are up to 10x faster. With speed and throughput surpassing conventional wired backhaul, airFiber provides an over-expensive and labor-intensive, wired infrastructure.



airFiber is built for long-range use, up to 10+ km for airFiber AF-24, up to 20+ km for airFiber AF-24HD, and up to 10.04 km for airFiber AF-5/AF-5U, which launches the innovative Extreme Range Technology (eRT™) feature.



airFiber backhaul does not share the security risks associated with wired backhaul. The long distances of wired backhaul are vulnerable to copper theft, fiber optic damage, vandalism, and accidental breakage. With airFiber, only the installation points of the airFiber links need to be secured.

Specifications

airFiber AP-5/AP-5U	
Dimensions	
Radio	335.4 x 455.4 x 231.4 mm (35.94 x 45.44 x 23.05")
Box	1042 x 573 x 502 mm (41.02 x 22.56 x 19.78")
Weight	
Radio (Mount Included)	16 kg (35.27 lb)
Box	28.5 kg (62.82 lb)
Max. Power Consumption	40W
Power Supply	30V, 1.2A PoE GigE Adapter (Included)
Power Method	Passive Power over Ethernet
Supported Voltage Range	442 to 455VDC, -45VDC
Automatic Transmit/Power Control (ATPC)	Yes
Certifications	CE, FCC, IC
Mounting	Pole Mount Kit (Included)
Wind Loading	563 N (125 lbf) @ 200 km/hr (125 mph)
Wind Survivability	200 km/hr (125 mph)
Operating Temperature	-40 to 55° C (-40 to 131°F)
LEDs	(12) Status LEDs: Data Port Link/Activity Data Port Speed Management Port Link/Activity Management Port Speed GPS Synchronization Master/Slave Link Status Modulation Mode 0, 25c to 4c, 5c, 5c, 10c (Unlabeled), Overload Remote and Local Displays (Calibrated Signal Strength)
Operating Frequency	
AP-5	
FCC 15.247, 15.407, IC R35-210	5470 - 5600 MHz, 5650 - 5650 MHz
ETSI EN 301 893, EN 302 502	5470 - 5575 MHz
Other Regions	5470 - 5550 MHz
AP-5U	
FCC 15.247, IC R35-210	5725 - 5850 MHz
ETSI EN 302 502	5725 - 5875 MHz
Other Regions	5725 - 6200 MHz
Interface	
Data Port	(1) 10/100/1000 Ethernet Port
Management Port	(1) 10/100 Ethernet Port
Auxiliary Port	(1) RJ-12, Alignment Tone Port
System	
Maximum Throughput	1.24 Gbps
Maximum Range	100+ km (Dependent on Regulatory Region)
Packets per Second	1+ Million
Encryption	128-bit AES
Uplink/Downlink Ratio	50% Fixed
Latency	
Full Duplex Mode	~ 200 µs at Full Throughput
Half Duplex Mode	~ 2 ms at Full Throughput
Radio Frame Synchronization	GPS
Dynamic Frequency Selection	
AP-5	CE, FCC/IC
AP-5U	CE (FCC/IC Not Applicable)
MTU (Maximum Transmission Unit)	Up to 9500

eSFPee AP-5/AP-5U Suggested Max. TX Power	
10c	39 dBm
8c	40 dBm
6c	43 dBm
4c and below	47 dBm

eSFPee AP-5/AP-5U Receive Sensitivity								
Rate	Modulation	Sensitivity (10 MHz)	Sensitivity (20 MHz)	Sensitivity (20 MHz)	Sensitivity (40 MHz)	Sensitivity (50 MHz)	FDD Capacity*	TDD Capacity*
10c	1024QAM	-83 dBm	-80 dBm	-79 dBm	-78 dBm	-77 dBm	1280 Mbps	640 Mbps
8c	256QAM	-70 dBm	-67 dBm	-66 dBm	-65 dBm	-64 dBm	1024 Mbps	512 Mbps
6c	64QAM	-77 dBm	-74 dBm	-73 dBm	-72 dBm	-71 dBm	768 Mbps	384 Mbps
4c	16QAM MIMO	-84 dBm	-81 dBm	-80 dBm	-79 dBm	-78 dBm	512 Mbps	256 Mbps
2c	QPSK MIMO	-90 dBm	-87 dBm	-86 dBm	-85 dBm	-84 dBm	256 Mbps	128 Mbps
1c	1/2 Rate QPSK sRT	-93 dBm	-90 dBm	-89 dBm	-88 dBm	-87 dBm	128 Mbps	64 Mbps
1/2c	1/2 Rate QPSK sRT	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-91 dBm	32 Mbps	16 Mbps

*FDD = (2) 50MHz channels and TDD = (1) 50MHz channel

eSFPee AP-5/AP-5U Radio Frequency	
GPS	GPS Clock Synchronization
Transceiver	
ERP	-50 dBm (Dependent on Regulatory Region and Frequency Band)
Frequency Accuracy	±2.5ppm without GPS Synchronization ±0.2 ppm with GPS Synchronization
Channel Bandwidth	10/20/30/40/50 MHz
Modulation	1024QAM MIMO 256QAM MIMO 64QAM MIMO 16QAM MIMO QPSK MIMO 1/2 Rate QPSK sRT 1/4 Rate QPSK sRT
Integrated Split Antenna	
TX Gain	23 dBi
RX Gain	23 dBi
Beamwidth	6°
Front-to-Back Ratio	70 dB
Polarity	Dual-Slant Polarization
Cross-Polarity Isolation	≥ 25 dB