

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ciencias de la Computación



T E S I S

**“Diseño y Evaluación de Radioenlace P2P Mediante la Plataforma
LINKPLANNER”**

Presenta: Marco Antonio Vieyra Florentino

Para obtener el grado de: Ingeniero en Tecnologías de la
Información

Director: M.C. Ana Claudia Zenteno Vázquez

Codirector: M.C. María del Carmen Santiago Díaz

Puebla, Pue, noviembre 2025

Agradecimientos

Agradezco a Dios en primer lugar pues sin el nada sería posible, agradezco las oportunidades que ha puesto en mi vida y que me ayude a lograr cada uno de mis propósitos.

Agradezco a mi abuelita Aurora Islas Hernández (†) por sus buenos consejos y conducirme por el buen camino, aunque no esté más físicamente, sé que jamás me deja solo pues está presente en cada paso que doy.

A mis padres por el sacrificio que hacen cada día para que sus hijos podamos gozar de las oportunidades que ellos no pudieron tener y saber guiarnos para ser personas de bien. Sin duda sus sacrificios no han sido en vano.

A mis hermanos que han sido quienes me apoyan y motivan incluso en los momentos más difíciles, sé que en ustedes puedo confiar ciegamente pues me guiaran con paso firme.

Agradezco también a aquellos tíos y familiares que a lo largo de la vida siempre me han dado la mano y desean lo mejor para mi persona, también ustedes son parte de este proyecto.

Quiero dar las gracias a también a Sandra Rosas, Fabritzia Castillo, Lorena Aguilar, Luz Nayeli Martínez y Andrea Bonilla, quienes sin haber tenido una razón confiaron en mi para brindarme oportunidades de crecimiento y aprendizaje que no muchos podemos tener a mi corta experiencia laboral, sin duda han sido guía y maestras para mi desarrollo personal, interpersonal y laboral, agradecido estaré siempre con ustedes.

A mi profesora Ana Claudia Zenteno Vázquez, a quien tuve la fortuna de conocer en mi vida universitaria, una de las mejores profesoras que he conocido además de ser una excelente guía de proyectos, como el presente en esta ocasión.

Por último, pero no menos importante quiero agradecer a todas esas personas que en el camino se han sumado para aportar su grano de arena. Así como a esas personas que nos ayudan a ver la vida con una nueva perspectiva, su presencia sin duda es necesaria para enfrentar las adversidades de la vida.

Gracias.

Resumen

El presente trabajo de tesis consiste en la simulación de un radioenlace en su modalidad punto a punto o “P2P”; con el software LINKPlanner desarrollado por Cambium Networks. Este software se emplea ya que destaca por generar un reporte detallado que funge como referencia para el técnico instalador ya que contiene las configuraciones pertinentes y las orientaciones de los componentes físicos que ya han sido analizados y simulados en el software, haciendo más eficiente el despliegue del proyecto en la implementación física.

La planificación de cualquier proyecto es importante ya que sirve para determinar las mejores acciones a seguir antes de llevar el proyecto a un plano físico, la utilización de un sistema de modelado o de simulado en este caso es clave para determinar si el comportamiento que vemos mediante los medios computacionales es el comportamiento esperado de manera física. Planear un proyecto de radioenlace en cualquiera de los tipos de radioenlaces existentes es clave y es un factor determinante que se refleja en tiempo y costos ya que la implementación de un radioenlace bien diseñado puede ser puesto en marcha de manera rápida y eficaz asegurando que los costos no se incrementen más allá de lo necesario.

Lo más importante en el desarrollo del proyecto es asegurar que se cumplen los requisitos de nuestro cliente o del proyecto que se realiza puesto que esta es la manera en que se puede comprobar y validar que el radioenlace es funcional y cubre las necesidades planteadas, además, con la validación de otros elementos cruciales como la Línea de Vista (LOS), alineaciones, frecuencias y demás elementos destacables, se puede asegurar un funcionamiento estable y robusto. Concluyendo en una propuesta de proyecto viable y factible para el uso físico con implementación e intercambio de información inalámbrica mediante el uso de tecnologías radioenlace.

Contenido

Agradecimientos	1
Resumen	2
CAPÍTULO 1	6
REDES Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	6
1.1 Contexto histórico	7
1.2 Conceptos básicos.....	9
1.3 Radioenlace.....	11
Propagación de la señal mediante radioenlaces.....	21
1.4 Antenas	24
CAPÍTULO 2	28
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y TECNOLÓGICA.....	28
2.1 Generaciones de tecnologías móviles.....	29
Primera Generación (1G)	29
Segunda Generación (2G)	30
Tercera Generación (3G)	31
Cuarta generación (4G)	33
Quinta generación (5G).....	34
Torres más pequeñas	35
Segmentación de red	36
2.2 Simuladores.....	37
Radio Mobile	38
Xirio (PlaningTool)	39
LINKPlanner.....	41
Comparativa de simuladores	43
CAPÍTULO 3	45
PROCESO METODOLÓGICO Y CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL	45
3.1 Diseño de prototipo de laboratorio.	46
3.1.1 LINKPlanner (Software)	47
3.1.2 Ubicación de los sitios.....	48
3.2 Configuraciones y puesta en marcha del radioenlace	49
CAPÍTULO 4	63
DISEÑO, DESARROLLO Y VALIDACIÓN DEL ENLACE P2P.....	63
4.1 Propuesta general	64

4.2 Validación técnica de radioenlaces	64
CONCLUSIONES	67
TRABAJO FUTURO	70
ANEXO 1	71
REPORTE DE PROPUESTA GENERADO POR LINKPLANNER.....	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

Ilustración 1 Imagen ilustrativa sobre un Radioenlace [13].....	12
Ilustración 2 Ejemplo de radioenlace satelital [14].....	14
Ilustración 3 Zona de fresnel y vanos [15].	19
Ilustración 4 Ejemplo de Radioenlace de alta capacidad [16].	21
Ilustración 5 Near Line of Sight [17].....	22
Ilustración 6 Line of Sight. [18].....	23
Ilustración 7 Diagrama de radiación de una antena [19].	25
Ilustración 8 Tipos de polarización de una antena [20].	27
Ilustración 9 Mobile Telephone Service (MTS [21]).	30
Ilustración 10 Motorola International 3200 (2G) [22].	31
Ilustración 11 Motorola RAZR (3G) [23].	32
Ilustración 12 Iphone 5 4G [24].	34
Ilustración 13 Diferencia entre el alcance de las torres 4G y 5G [25].	35
Ilustración 14 Sistema de Cerradura con tecnología 5G [26].....	37
Ilustración 15 Vista del simulador Radio Mobile	39
Ilustración 16 Vista de la página de acceso a Xirio.....	41
Ilustración 17 Vista de la herramienta LINKPlanner.....	43
Ilustración 18 Diagrama del prototipo (elaboración propia)	46
Ilustración 19 Diseño de dispositivos finales (Elaboración propia).....	47
Ilustración 20 Ubicación de los puntos de nuestro radioenlace	48
Ilustración 21 Configuraciones generales del punto A.....	49
Ilustración 22 línea de vista y análisis de campo	50
Ilustración 23 Configuración inicial del equipo de radio.	51
Ilustración 24 Datos obtenidos con una frecuencia inicial de 10GHz	52
Ilustración 25 Frecuencia a 5.8 GHz	53
Ilustración 26 Regulaciones disponibles para el proyecto	54
Ilustración 27 Valores obtenidos a 5.8MGz.....	54
Ilustración 28 Modificación al ancho de banda a 20 MHz	56
Ilustración 29 Valores obtenidos con 20 MHz en ancho de banda y frecuencia 5.8GHz	57
Ilustración 30 Antena por defecto en cada sitio	58
Ilustración 31 Modificación en la antena.	58
Ilustración 32.....	59
Ilustración 33 Modelo apto para instalación	60
Ilustración 34 Tabla de materiales a utilizar.	61
Ilustración 35 Portada del reporte de propuesta.....	62
Ilustración 36 Portada del reporte LINKPlanner	72

Ilustración 37 Tabla de contenido/índice del reporte	73
Ilustración 38 Project Summary	74
Ilustración 39 Mapa de la red.	75
Ilustración 40 Ticket de materiales	76
Ilustración 41 línea de vista y descripción general del proyecto	78
Ilustración 42 Tabla de rendimiento	79
Ilustración 43 "Disclaimer" (Aviso legal)	80

CAPÍTULO 1

REDES Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

1.1 Contexto histórico

Los sistemas de tecnologías móviles, siendo más específicos, el sistema de telefonía celular desde su aparición revolucionó la industria de los sistemas de telecomunicaciones. Con la introducción de dicha tecnología y su uso en ámbitos de índole comercial el desarrollo de esta ha provocado que su crecimiento se acelerara de forma considerable especialmente una década después de 1990 y en los inicios del nuevo siglo, el siglo XXI, periodo en el cual es importante mencionar que su crecimiento fue aún mayor a cualquier año anterior. En los inicios de la tecnología celular estaba pensada o diseñada para la transmisión de datos de voz, esto a causa de las limitaciones en cuanto a tecnología en aquellos años, sin embargo, mediante la tecnología celular de nuestros días es posible la transferencia de otros servicios como lo son la transferencia de datos, servicio de audio y video con algunas limitaciones aún; quizá los avances de telefonía inalámbrica harán más accesible para los usuarios en general, las aplicaciones que requieran un mayor consumo de ancho de banda. Los dispositivos celulares sin duda alguna se han logrado posicionar en la vida diaria como una herramienta casi indispensable para las personas como también para negocios.

Ahora recordemos un poco como es que se originó la telefonía móvil/celular. Los servicios móviles (telefonía celular) se da a inicios del siglo XIX, en el momento en el que el científico alemán Rudolf Hertz logró descubrir que la información podía ser propagada mediante ondas de radio. Consecutivamente en el siglo XX, para ser más precisos en los años cuarenta se presenta el inicio en el sistema de tecnología de radio móvil del cual hacia uso la policía, una década más tarde se introduciría el servicio de telefonía celular análoga, la cual tendría bastante éxito alrededor del mundo. Es en el año de 1947 cuando finalmente el concepto básico de telefonía celular hace su aparición, esto sucedió, mientras científicos de los laboratorios de la empresa Bell de la AT&T (AT&T Bells Labs), ubicados en Estados Unidos, ponían un mayor enfoque en los primeros teléfonos móviles que se encontraban instalados en automóviles y coincidieron

en que el hecho de utilizar áreas de para servicio de tamaño pequeño (celdas o células), en conjunto con la reutilización de frecuencias en celdas no vecina, haría posible un incremento notable en el potencial de tráfico de esta nueva tecnología móvil. La poca o nula disponibilidad de tecnología necesaria en esos momentos no permitió que esta idea se materializara. En 1970 los avances tecnológicos permitieron un importante crecimiento que se reflejó directamente en los sistemas de telecomunicaciones, así como los sistemas de conmutación que están controlados por ordenadores, circuitos integrados y la innovación digital.

Podría decirse que Martin Cooper fue el precursor en esta tecnología, tanto es así que él es considerado como “el padre de la telefonía celular”, esto gracias a su hazaña de innovar con el primer diseño de un radioteléfono en 1973, esto mientras laboraba para la empresa Motorola. Para 1977 en las instalaciones de los laboratorios Bell (AT&T) se construyó y opero un modelo para tecnología celular. No es hasta un año después, en 1978, que se iniciaron en Chicago, las pruebas de manera pública del nuevo sistema de tecnología celular, con una cantidad mayor a 2000 celulares experimentales. Para el año de 1979 la compañía NTT (Nippon Telegraph & Telephone Corp.) comenzó las operaciones del que sería el primer sistema a nivel comercial de la tecnología celular. En el conjunto de países conocidos como nórdicos se introdujo un sistema de tecnología celular similar al conocido Advanced Mobile Phone System (Sistema Avanzado de Telefonía Móvil) para 1981; al mismo tiempo, pero en Estados Unidos, la compañía Motorola y el American Radio Phone comienzan con a realizar pruebas de lo que sería el segundo sistema norteamericano de tecnología celular, en la zona de Washington y Baltimore. Por su parte en el año de 1982 la Federal Communications Commission (Comisión Federal de Comunicaciones), misma que había tomado todo este asunto de una manera bastante calmada y lenta, resolvió autorizar el servicio de manera comercial de servicios móviles y telefonía celular en los Estados Unidos, siendo más precisos, esto comenzó en Chicago, por Amerithech, con el servicio conocido como AMPS (Advanced Mobile Phone System).

Sin importar la enorme demanda y el crecimiento acelerado del uso en dicho país. Las funcionalidades del servicio de telefonía celular se demorarían 36 años en poder tener una disponibilidad de carácter comercial en todo Estados Unidos. Esto marcó

un parteaguas para varios países donde la imagen de la telefonía celular ya se tomaba en cuenta como una gran alternativa para el teléfono convencional de conexión alámbrica. A partir de estos momentos es cuando los sistemas móviles (telefonía móvil o celular) empezaron a ser aceptados en gran medida, razón por la cual al paso de pocos años de implementarse dicha tecnología se saturó el servicio. Ahora surgía una nueva necesidad, la cual era poder crear e implementar nuevas formas para acceder de manera múltiple a canal y pasar de los sistemas denominados analógicos a los sistemas digitales que son más modernos y brindan servicio a un mayor número de usuarios.

1.2 Conceptos básicos

Radioenlace: denominaremos de manera general; radioenlace a toda interconexión entre terminales de sistemas de telecomunicación efectuada por ondas radioeléctricas. La referencia a radioenlace de servicio fijo se da porque los terminales de este son fijos. Si al menos un elemento terminal es móvil, entonces nos vamos a referir a este mismo como sistemas o servicios móviles (Telefonía móvil). En el caso de que todos los terminales se encuentren en la tierra se denominarán radioenlaces terrenales, caso contrario donde existen uno o más equipos repetidores situados en algún satélite espacial; entonces el término que utilizaremos para referirnos a este tipo de radioenlace se denominará espacial satelital.

Sistemas o servicio (telefonía) móvil: la telefonía móvil es conocida también bajo el nombre de servicio móvil /Telefonía Celular. Esta tecnología es un servicio de conexión a la red telefónica pública mediante una conexión de red inalámbrica, la cual se caracteriza porque los usuarios tienen la facultad de poder enviar y recibir llamadas telefónicas.

Enlace punto a punto: un sistema de radioenlace microondas del tipo punto a punto, hace referencia a un tipo de conexión que hace posible la comunicación entre dos lugares conocidos como “puntos” que se encuentran situados sobre la superficie terrestre mediante el uso de ondas electromagnéticas para propagarlas en el espacio libre. Este tipo de interconexión representa una manera eficiente de conectar dos puntos a larga distancia.

Microonda: se le asignará el nombre de “microonda” a toda aquella onda electromagnética que tenga por frecuencia desde los 500 MHz hasta los 300 GHz o superior a esta cantidad. Es por esta razón que el comportamiento de la longitud de dichas ondas es pequeño y por ello recibe el nombre de “micro” ondas.

Antena microondas: una antena para microondas o antena microondas es un dispositivo que se utiliza para hacer posible la transmisión y recepción de las señales de radio de alta frecuencia o microondas. Estas antenas funcionan convirtiendo las ondas electromagnéticas recibidas en señales eléctricas y de modo contrario cuando es la antena de envío.

Línea de vista (LOS: Line Of Sight): la línea de vista o LOS (Line Of Sight) nos ayuda a poder definir el espacio libre en el cual será posible propagar las ondas de radio o microondas una vez propuestos un equipo de transmisión y un equipo de recepción en una distancia determinada. Es importante mencionar que en el modelo del proyecto se contempla el mejor de los escenarios donde no existan objetos que interfieran con los equipos de transmisión y de recepción, también se debe tomar en cuenta que la señal se propaga generalmente en forma de línea recta entre ambos puntos del enlace. En caso de que existan objetos o cuerpos que obstruyan el intercambio de señales, la propagación de esta se verá entorpecida.

Telefonía analógica: la tecnología analógica es una forma de comunicación telefónica que se ha usado por muchos años. Dicha forma de tecnología utiliza señal de forma analógica para hacer posible la transmisión de datos de voz a través de líneas telefónicas especializadas para dicho servicio. Una de las mejores características de la telefonía analógica es que es fácil de usar y estable; aunque se ve opacada también porque es limitada en términos de funcionalidad y flexibilidad.

Advance Mobile Phone System (AMPS): por su traducción al español el sistema de telefonía móvil avanzada la cual es considerada la primera generación (1G) la cual era capaz de evitar las interferencias entre llamadas debido a su capacidad de poder dividir un espacio físico entre dos dispositivos móviles gracias a unos componentes llamados celdas, las cuales funcionan separando las frecuencias.

Simulador/software de simulación: es una herramienta que reproduce el comportamiento de un sistema en determinadas condiciones, aplicado para el entrenamiento de quienes den manejar dicho sistema. Las herramientas de simulado de sistemas nos brindan una forma gráfica y visual de conocer el comportamiento de algún proceso físico o de algún sistema bajo condiciones ajustadas al mundo real.

Megahercio (MHz): es el nombre que se le da a la unidad que determina la frecuencia e indica la velocidad a la que funciona un sistema. Comúnmente se utilizan las siglas MHz para abreviar y referirnos a dicha palabra. Como referencia un megahercio equivale a un hercio multiplicado por un millón, es decir un MHz es igual a un millón de ciclos.

Gigahercio (GHz): el gigahercio abreviado GHz al igual que el megahercio es un múltiplo de la unidad de medida hercio; sorprendentemente un gigahercio refiere a una unidad de medida que es igual a mil millones de ciclo por segundo. El comportamiento gráfico de las ondas de frecuencia es bastante llamativo y recibe comúnmente el nombre de **microonda**.

1.3 Radioenlace

Los radioenlaces representan una manera tecnológica de comunicación inalámbrica que permite el intercambio de información utilizando un medio natural como lo es el aire. La tecnología radioenlace es útil para poder crear conexiones de distancias grandes sin la obligatoriedad de usar cables físicos.

¿Qué es un radioenlace?

Podemos entender un radioenlace como un sistema de comunicación que transmite señales electromagnéticas en forma de onda enlazando dos o más puntos distantes entre sí. Los radioenlaces son ampliamente utilizados en diversas industrias y aplicaciones. Algunos de estos ámbitos de aplicación van desde: la transmisión de datos en redes para sistemas de telecomunicaciones hasta la distribución de señales de televisión y radio, los radioenlaces son fundamentales para mantenernos conectados en un mundo cada vez más demandante en cuanto a formas y medios de comunicación se trata. Además de que los radioenlaces también son utilizables

en aplicaciones militares o interconexión de torres para operadores, donde la comunicación rápida y confiable es crucial para el éxito de las operaciones.

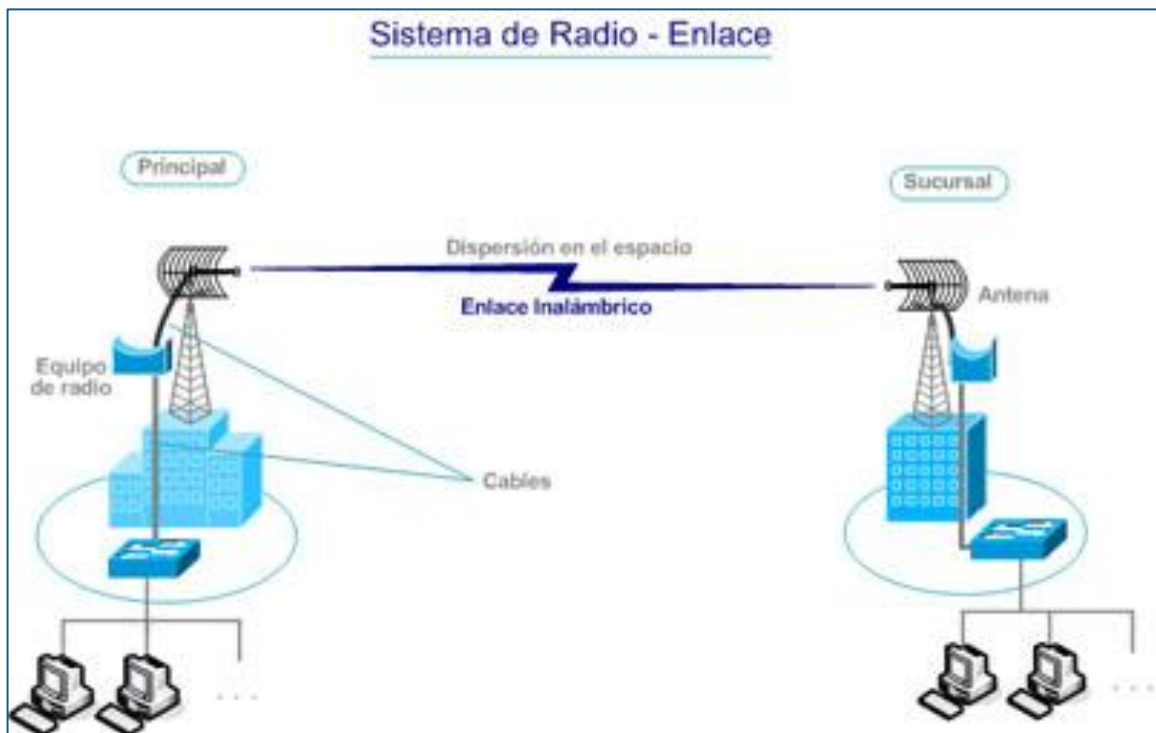


Ilustración 1 Imagen ilustrativa sobre un Radioenlace [13].

La ilustración 1 demuestra cómo se compone fundamentalmente un sistema de comunicación radioenlace, así como sus componentes principales.

¿Para qué sirven?

Facilita y permite la comunicación rápida y confiable entre lugares o puntos que se encuentran considerablemente alejados entre sí, convirtiéndose de este modo en herramienta invaluable para hacer posible la comunicación en áreas remotas o áreas donde la instalación de cables sería costosa o difícil de llevar a cabo.

Son importantes y necesarios para establecer conexiones en diversos puntos geográficos. Un ejemplo muy notable es la conexión de radioenlaces en áreas de difícil acceso, rurales o montañosas donde es difícil imaginar realizar conexiones cableadas y más difícil aún llevarlas a la realidad, es ahí donde los radioenlaces hacen su aparición para solucionar dichos problemas comprometiendo mínimamente la calidad de la señal generada.

¿Qué componentes tienen?

Los radioenlaces están conformados por varios componentes necesarios para su correcto funcionamiento.

En primer lugar, tendríamos a la antena, que es la responsable de enviar y recibir las señales electromagnéticas. Existe una amplia variedad de antenas pueden ser de diferentes tipos, como lo son las: antenas parabólicas, sectoriales o direccionales. Otros componentes necesarios, además de las antenas, para los radioenlaces son los transmisores y receptores para enviar y recibir las señales. Dichos dispositivos son encargados de codificar y decodificar la información transmitida, lo que servirá para asegurar una comunicación clara y precisa en el sistema de radioenlace.

Comúnmente los radioenlaces utilizan también equipos de conexión y enrutamiento para determinar una ruta por la cual se dirija y se maneje la transmisión de datos. Los componentes anteriormente descritos permiten que las conexiones realizadas sean conexiones más seguras y eficientes, optimizando de este modo el rendimiento de los radioenlaces.

¿Qué tipos de radioenlaces existen?

Los sistemas radioenlace pueden encontrarse en diferentes tipos y cada uno de ellos cuenta con características y usos propios.

El radioenlace terrestre es el tipo de radioenlace más frecuente y común que podemos encontrar, este tipo de radioenlace es utilizado para crear conexiones entre puntos localizados en la superficie de la tierra. Dichos radioenlaces terrestres también suelen ser utilizados para crear conexiones en puntos de distancias considerables también son usados para conectar redes de telecomunicaciones o establecer conexiones locales como, por ejemplo: las redes inalámbricas domésticas.

Además de los radioenlaces terrestres, existen también radioenlaces satelitales que, como su nombre lo indica, hace uso de satélites que se encuentran en órbita, para transmitir señales a distancias muy largas. El área de aplicación de este tipo de sistemas radioenlaces, se enfoca más a la transmisión de señal de televisión y radio de manera global además de ser utilizados para comunicaciones de índole militar y de emergencia. También los sistemas de radioenlace microondas pueden ser catalogados tomando en cuenta el tipo de frecuencia utilizada para la función de este.

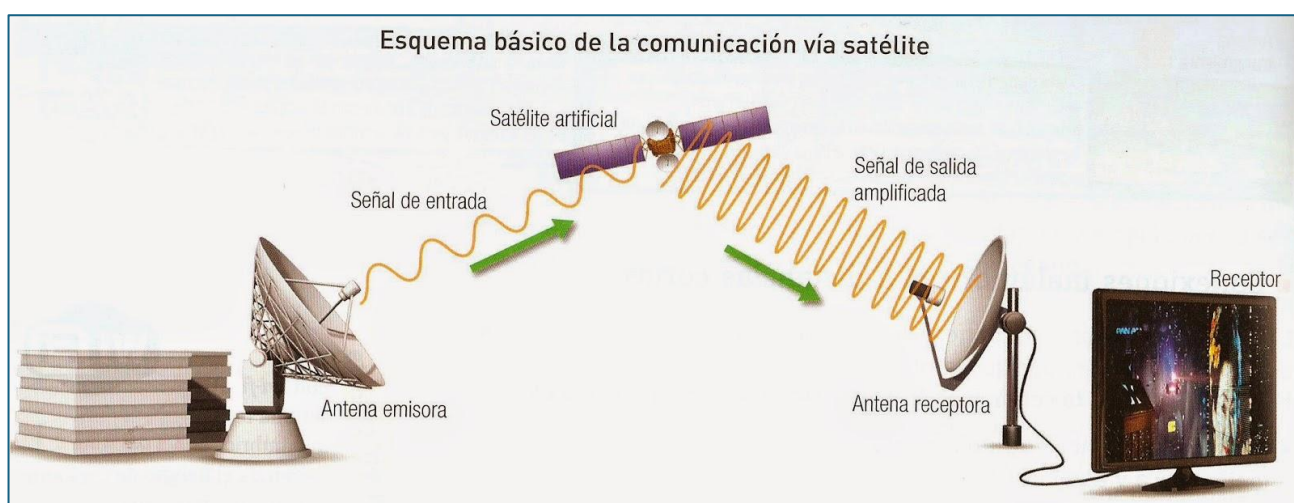


Ilustración 2 Ejemplo de radioenlace satelital [14].

A diferencia de la ilustración 1 en donde se puede observar un radioenlace terrestre, la ilustración 2 nos muestra la manera en que se interconecta un sistema de comunicación radioenlace en su modo satelital.

¿Cuál es su origen?

Para comprender el origen del concepto de los sistemas radioenlaces es necesario remontarnos a los inicios de la comunicación inalámbrica, es decir a principios del siglo XX, cuando los pioneros de la radio empezaron a experimentar con la manera de transmitir señales a través del aire.

La invención de la antena parabólica en los años 1880 marcó un hito importante, permitiendo de este modo hacer posible la transmisión, así como la recepción de

señales electromagnéticas a grandes distancias con eficiencia y precisión mayor a la que se contaba en ese momento.

Conforme la tecnología avanzaba, se desarrollaban sistemas más sofisticados que permitían la transmisión a larga distancia de señales electromagnéticas. Con el paso del tiempo, los sistemas radioenlaces se fueron convirtiendo en una parte fundamental de las redes de telecomunicaciones, permitiendo así una comunicación rápida y confiable alrededor de todo el mundo.

Hasta el día de hoy, los sistemas radioenlaces continúan evolucionando y mejorando constantemente para cubrir las crecientes demandas de conectividad mundial. Gracias al desarrollo de nuevas tecnologías, como, por ejemplo: la transmisión de datos de alta velocidad, los radioenlaces siguen manteniéndose como una de las soluciones más confiables y eficientes para la comunicación en distancias considerablemente largas.

¿Cómo funcionan?

Fundamentalmente, los sistemas de radioenlaces funcionan haciendo uso de ondas electromagnéticas para transmitir señales. Dichas ondas viajan mediante el aire llegando desde la antena donde inicia el proceso de transmisión en el punto de inicio a la antena que recibe la señal en el punto de destino. La transmisión de las señales comienza con el proceso de codificación y modulación de la información inicial en la antena de transmisión. Dicha información se convierte en señal electromagnética para ser enviada posteriormente mediante un medio de transmisión; en este caso se hace uso del aire para poder transmitir dichas señales electromagnéticas.

El punto de destino o la antena receptora recibe las señales electromagnéticas y procede a decodificarlas, recuperando de este modo la información original. Diversos factores como la potencia de la señal, la calidad de las antenas y la interferencia del entorno afectan directamente la calidad y la velocidad de la comunicación.

Es de importancia destacar que para que un sistema radioenlace funcione correctamente se requiere de un alineamiento preciso entre las antenas de transmisión y recepción para que de este modo se garantice una comunicación

óptima. También la elección de frecuencias adecuadas y de la implementación de medidas de seguridad son aspectos fundamentales para garantizar la confiabilidad y la privacidad de la comunicación dentro del sistema de radioenlace.

Características técnicas

Igual que cualquier otro sistema, los radioenlaces poseen una serie de características técnicas que permiten el funcionamiento adecuado para que sean utilizables en telecomunicaciones. Estas características incluyen por mencionar algunas:

- **Alta velocidad de transmisión:** Los sistemas de radioenlaces poseen como característica que pueden proporcionar velocidades de transmisión muy altas, convirtiéndolos así en una opción ideal para utilizar en aplicaciones en las que requieren una gran cantidad de datos, como las aplicaciones de transmisión de video de alta definición o descargas de archivos grandes volúmenes.
- **Baja latencia:** La latencia se refiere al tiempo de respuesta, generalmente para los sistemas radioenlace debe ser una latencia baja, lo que se traduce como una comunicación casi inmediata. Esta característica es especialmente importante en aplicaciones de tiempo real, como, por ejemplo: aplicaciones de videollamadas o juegos en línea.
- **Conexiones confiables:** Al igual que cualquier sistema, los radioenlaces no están exentos de interferencias en la señal, pero los avances tecnológicos han permitido reducir de manera significativa las interrupciones que se presentan en la comunicación.

¿Cómo se construye una red de radioenlaces?

La construcción de una red de sistemas de radioenlaces implica un análisis detallado para la correcta instalación de antenas en puntos estratégicos los cuales servirán para establecer conexiones inalámbricas entre ellos.

Dicho análisis debe considerar ubicaciones estratégicas que permitan una adecuada línea de visión entre ellas las antenas que se van a instalar, esto refiere a que se debe pensar dicha instalación de elementos, tal que, los elementos físicos

que existentes como edificios o terrenos abruptos no representen interferencias o estas sean mínimas para que el funcionamiento y rendimiento del radioenlace siga siendo adecuado.

También, es necesaria una planificación cuidadosa para de este modo determinar la potencia de la señal necesaria, así como la frecuencia y otros parámetros técnicos para garantizar un rendimiento óptimo de la comunicación que se establecerá.

Ventajas que tienen para las telecomunicaciones

Los sistemas radioenlaces ofrecen más de una ventaja para las telecomunicaciones:

- Conexiones rápidas y rentables: Como se ha mencionado anteriormente los sistemas radioenlaces hacen posible establecer conexiones rápidas a distancias largas sin la necesidad de instalar cableados físicos, lo que se traduce en ahorro tiempo y costos de infraestructura física.
- Flexibilidad y escalabilidad: Una de las características de las redes de radioenlaces es que deben ser flexibles y deben adaptarse a las diferentes necesidades de comunicación. También deben ser escalables, es decir, que se pueden ampliar fácilmente si así se requiere, para cubrir nuevas áreas o aumentar la capacidad de transmisión según sea el caso.
- Resistencia a desastres: En situaciones de desastre o emergencia como temblores, los radioenlaces deben ser fundamentales para garantizar y establecer la comunicación rápidamente y esto se logra ya que no dependen de infraestructuras que pueden estar dañadas como cables de fibra óptica.

¿Qué velocidad permiten?

La velocidad que un sistema de radioenlaces puede proporcionar dependerá de varios factores, como lo es la frecuencia utilizada, la canalización, la potencia de la señal y la calidad de las antenas utilizadas en la conexión de dicho sistema de radioenlace.

“En general, los radioenlaces modernos pueden ofrecer velocidades de transmisión de datos de varios Gigabit por segundo, lo que los hace adecuados para aplicaciones de alta demanda de ancho de banda”. [1]

Dependiendo de la capacidad de cada sistema de radioenlace; algunos comienzan a explotar su potencial entre 800 MHz y 50 GHz. Cuando los sistemas radioenlaces de ámbito fijo utilizan las frecuencias que son superiores a 1GHz su frecuencia comienza a entrar en la región de las microondas, así que se les llama también radioenlaces de microondas.

Podemos ocupar el tipo de modulación de un sistema de radioenlace para clasificar a los radioenlaces en dos amplias categorías, cada una de las cuales utiliza una tecnología específica:

1) Radioenlaces analógicos En estos radioenlaces la portadora se modula en frecuencia (FM). La señal moduladora puede ser:

a) Un multiplex telefónico MDF de capacidad variable entre 12 y 2.700 canales, con sus pilotos de continuidad y circuitos de servicio (CTS), telecontrol (TC) y telemando.

b) Una señal vídeo en banda de base, de 0 a 5 MHz.

c) Un multiplex constituido por una señal vídeo en banda de base y de 1 a 4 subportadoras de audio, moduladas en frecuencia.

d) Una señal radiofónica, formada por subportadoras de audio moduladas en frecuencia.

2) Radioenlaces digitales La modulación en la portadora es digital, de tipo binario o multinivel. Se utilizan muchas variantes de la modulación de fase coherente: PSK binaria, PSK cuaternaria, PSK diferencial, PSK desplazada («Offset-PSK»), así como modulaciones multinivel mixtas de amplitud y fase del tipo MQAM (M= 16,64,128). La señal moduladora es un multiplex digital de alguna de las jerarquías normalizadas por el UIT-T, esto es la señal básica de 2 Mbit/s, o los multiplex a 8, 34 o 140 Mbit/s. Asociada a la clasificación anterior, existe otra en función de la capacidad del radioenlace que se mide por el número de canales telefónicos para los radioenlaces analógicos o por la velocidad de bits para los radioenlaces digitales. Con arreglo a la capacidad, pueden establecerse tres tipos de radioenlaces:

1. Baja capacidad, hasta unos 30 canales o 2 Mbit/s.

2. Capacidad media, hasta unos 240 canales u 8 Mbit/s.

3. Alta capacidad de 300 a 2.700 canales y por encima de 34 Mbit/s.

Los radioenlaces del servicio fijo hacen uso de la propagación troposférica es decir que propagan las señales electromagnéticas en la capa más baja de la atmosfera de nuestro planeta; en condiciones de visibilidad directa. En consecuencia, para salvar las limitaciones de alcance impuestas por la redondez de la Tierra y los obstáculos geográficos del terreno, se requiere la utilización de estaciones repetidoras, de manera que un radioenlace está constituido por dos estaciones terminales y un conjunto de estaciones repetidoras intermedias o, simplemente, repetidores, a través de las cuales la señal transmitida efectúa un tránsito. Se denomina vano a la sección de enlace radioeléctrico entre un terminal y un repetidor o entre dos repetidores. Como el trayecto del rayo debe estar despejado al menos en el 60 % de la primera zona de Fresnel para el obstáculo peor y en condiciones normales de refractividad atmosférica, la longitud de los vanos tiene un límite superior, que es del orden de los 80 km. para frecuencias inferiores a unos 10 GHz. Por encima de esta frecuencia, la atenuación por lluvia puede limitar la longitud de los vanos a unos 30 km. Por razones económicas, es conveniente que el número de vanos de un radioenlace sea mínimo, lo que implica que éstos tengan la mayor longitud posible. Sin embargo, además de la limitación anterior, para los vanos de gran longitud es mayor la probabilidad de desvanecimiento. Uno de los aspectos más importantes de la ingeniería de radioenlaces es la determinación de la longitud óptima de los vanos.

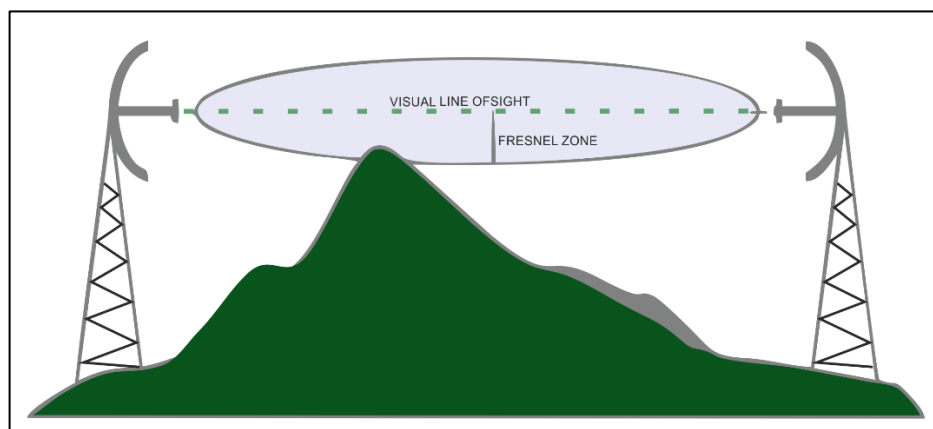


Ilustración 3 Zona de fresnel y vanos [15].

De la ilustración 3 podemos rescatar que la **zona de fresnel** encontrada dentro de la figura elíptica se puede interpretar como la zona o espacio en el cual las ondas electromagnéticas generadas por el intercambio de información mediante las antenas o componentes receptores/transmisores, idealmente esta zona debe estar libre de obstrucciones para que la comunicación sea lo más eficiente posible. En la ilustración podemos observar que existe un pequeño pico de obstrucción, pero aun así la comunicación es posible. Por otra parte, un **vano o los vanos** que existen en un radioenlace no es algo más que la distancia existente entre las dos o más estaciones, bases o sitios del radioenlace. Entonces mediante este supuesto podemos comprender que la línea punteada que conecta ambas antenas que ambos sitios donde se genera el radioenlace es nuestro **vano** o distancia que existe entre ambas estaciones del radioenlace.

Existen también radioenlaces en los que se utiliza la propagación por dispersión troposférica, para salvar grandes distancias, del orden de 200 km. La aplicación típica es un enlace costa-isla o entre terminales separados por un terreno en el que no sea posible la instalación de repetidores (desiertos, bosque denso, etc.). Se designa a estos enlaces con el nombre de «radioenlaces transhorizonte» y suelen ser de un solo vano. Las grandes pérdidas asociadas a la dispersión troposférica requieren la utilización de elevadas potencias. Asimismo, la irregularidad propia de este tipo de propagación implica la existencia de desvanecimientos importantes, que han de combatirse mediante técnicas adecuadas (diversidad, ecualización), la cuales encarecen los terminales. Los radioenlaces transhorizonte van siendo reemplazados por radioenlaces por satélite, más fiables y de mejor calidad. En general, en los radioenlaces se emplean antenas muy directivas con buena relación delante-atrás, lo que permite establecer cada radiocanal empleando únicamente dos frecuencias f_1 y f_2 , una para cada sentido de transmisión, las cuales se reutilizan en vanos sucesivos. La limitación de los recursos espectrales exige que los radioenlaces deban atenerse a planes estrictos de canalización, aun a costa de sacrificar otras características (aumento de distorsión, interferencia entre símbolos, etc.), cuyo restablecimiento obliga a recurrir a técnicas especiales de tratamiento de la señal (codificación, ecualización). [2]

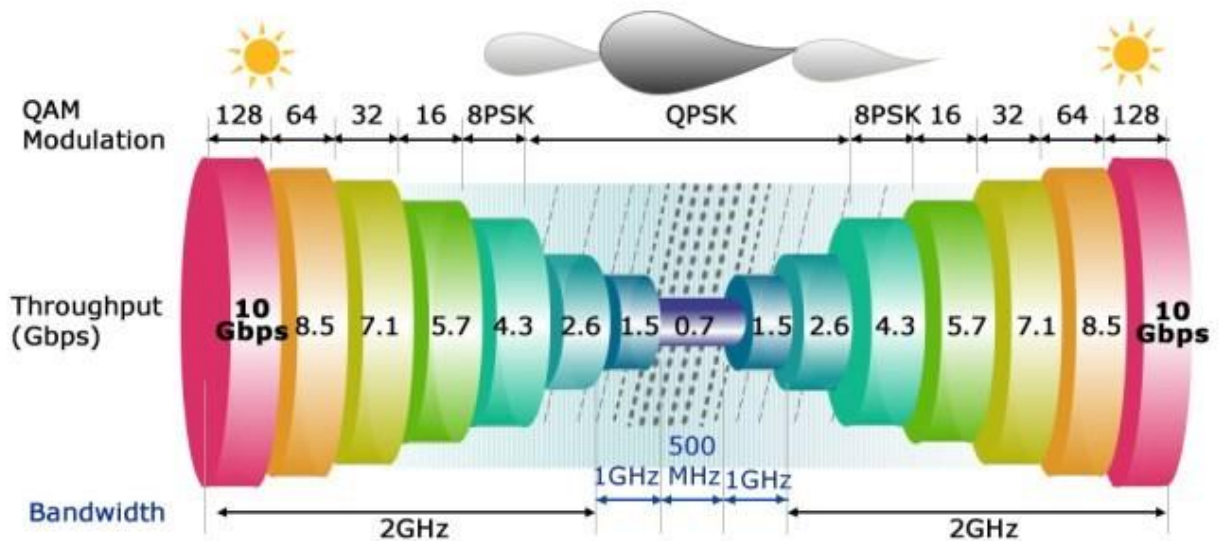


Ilustración 4 Ejemplo de Radioenlace de alta capacidad [16].

Propagación de la señal mediante radioenlaces

Para que la propagación correcta de señal mediante un radioenlace y para que sea posible transmitir información correctamente, así como datos y/o información de voz; forzosamente debe cumplirse una de las condiciones más importantes en el ámbito de las comunicaciones inalámbricas, se trate de la línea de vista o de visión entre las antenas receptoras y transmisoras. Para lograr esto, es imprescindible definir correctamente el rango de frecuencias utilizable en el radioenlace a desarrollar. Es necesario ya que las ondas generadas por las antenas pueden ser manipuladas y modificadas por la atmosfera y por las diversas obstrucciones existentes entre la trayectoria del emisor hasta el receptor. Por dicho motivo debe garantizarse el cumplimiento de especificaciones mínimas establecidas para la propagación de señal, tal que; en caso necesario sea posible la inmediata recuperación de la señal.

Contrario a lo que se pueda pensar las ondas radioeléctricas de forma rectilínea entre dos puntos, realmente se desplazan en una espiral que recibe el nombre de **Fresnel**. Por dicho se crean dos agrupaciones según las frecuencias de onda que se emiten. Primeramente, podemos encontrar las VHF (Very High Frequency) que

van desde 30 MHz hasta los 300 MHz, por otro lado, existe también las UHF (Ultra High Frequency) que van desde 3 MHz hasta los 3 GHz, estas últimas muestran mayor aguante a los obstáculos y hacen posibles los enlaces: Near Line of Sight (nLOS o casi con línea de vista) que representa una trayectoria que tiene obstrucciones parciales entre ambos componentes emisores y receptores de la señal.

A continuación, en la ilustración 2 se puede la representación gráfica de una nLOS entre un radioenlace.

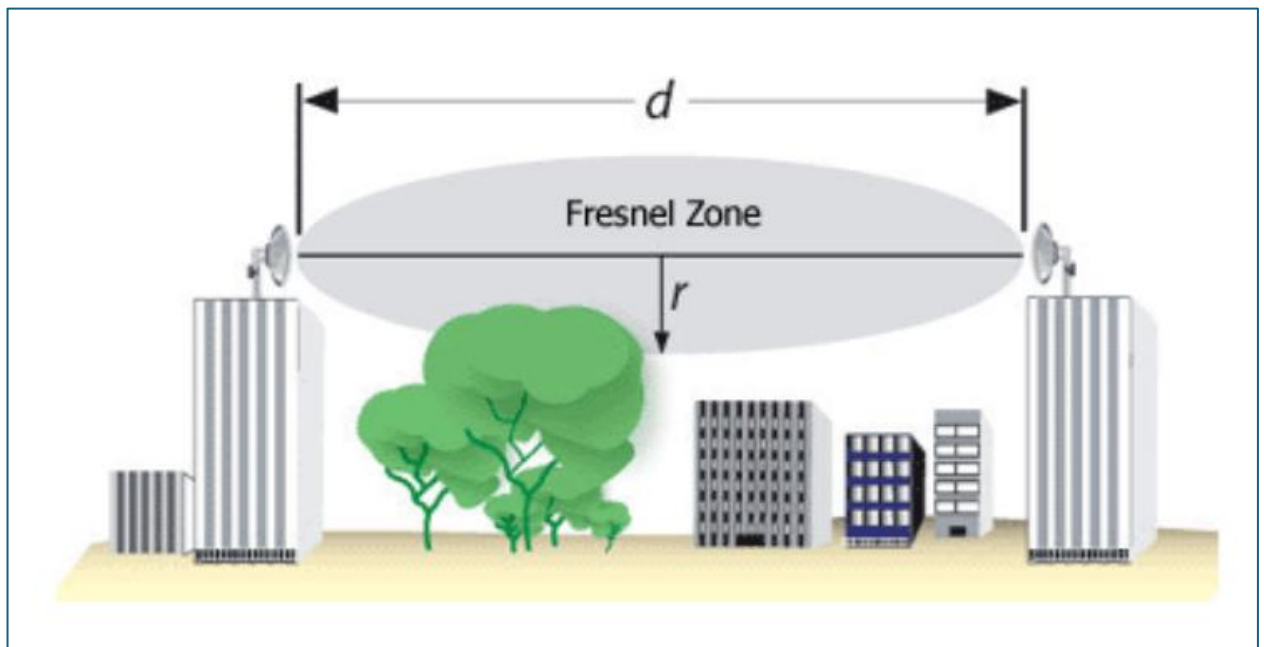


Ilustración 5 Near Line of Sight [17].

Para los radioenlaces con frecuencias superiores a los 900 MHz, es necesario contar con una propagación LOS (Line of Sight o con Línea De Vista); esto quiere decir que no existan obstáculos en la zona de Fresnel. Como podemos observar en la ilustración 5 se observa una LOS (línea de vista) sin obstáculos entre el punto a y el punto b del radioenlace.

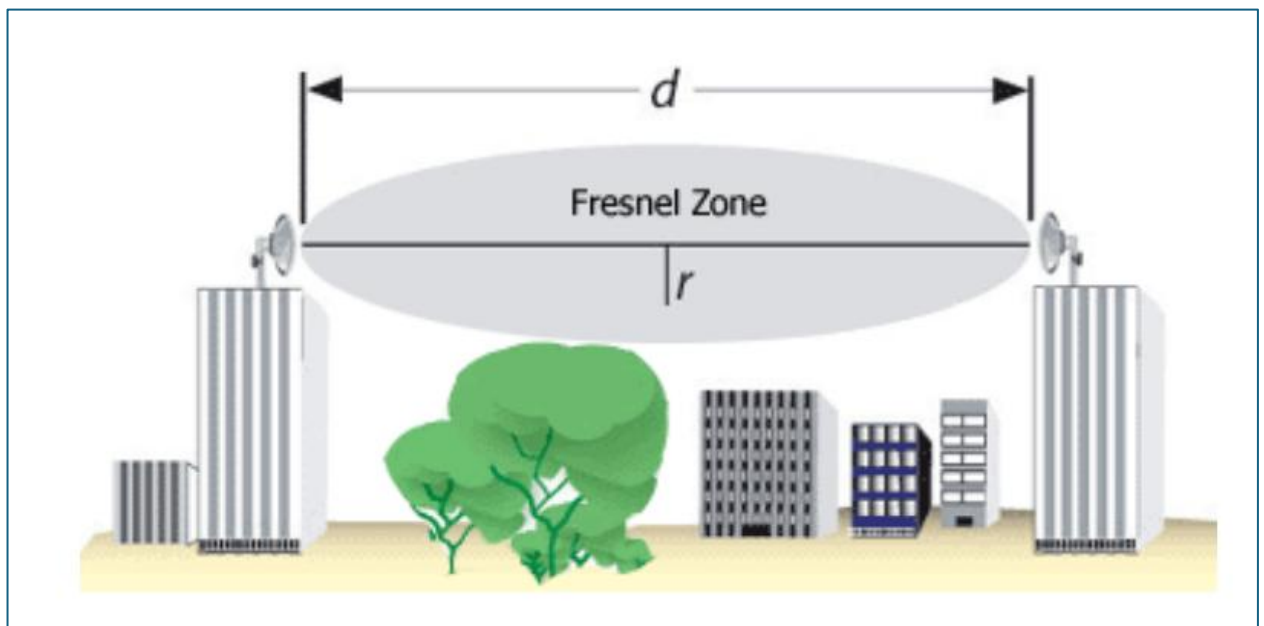


Ilustración 6 Line of Sight. [18]

La implementación de uno o más radioenlaces se puede resumir en ciertos pasos a seguir, dichos pasos son:

- Selección de los puntos geográficos en donde se procederá a instalar los elementos del radioenlace. Determinando el lugar de instalación de los dispositivos de transmisión y de recepción. En casos necesarios debe determinarse del mismo modo y si fueran necesarias antenas intermediarias.
- Comprobación del lugar donde se va a implementar el sistema de transmisión inalámbrica. Dicho de otro modo, se debe considerar el terreno en el cual se pretende realizar el enlace de telecomunicaciones, ya que debe contar con línea de vista entre las dos antenas y se debe considerar la distancia a la que se encuentran separadas las mismas.
- Procesamiento de datos para la colocación del mástil de la antena, así como la altura a la que se colocará el mismo para tener una correcta vista.
- Cálculos del radioenlace, considerando la trayectoria que tendrán las ondas y sus efectos a los que estarán expuestos por causas humanas o naturales (atenuación, interferencias, etc.)
- Pruebas de funcionamiento posteriores a la instalación del radioenlace para verificar el correcto funcionamiento de dicho enlace.

1.4 Antenas

Las antenas en los radioenlaces son quizá el componente más notable en un sistema de comunicación inalámbrica. El funcionamiento básico de dicho elemento que se encuentra siempre al final de la línea de transmisión; no es otra más que la emisión y recepción de las señales. Para hacer posible esto, la antena transmisora convierte la energía que llega en forma de ondas electromagnéticas, una vez que han sido propagadas por el espacio libre existente. Es importante contar y garantizar con las condiciones correctas para la estructura a realizar son de gran importancia, ya que influyen en la zona de cobertura, de manera tal que pueden o no tener el alcance suficiente para tener una comunicación efectiva. Existen características importantes que se deben tomar en cuenta al momento de elegir una antena para el radioenlace:

- Directividad: es la función que existe entre la cantidad de potencia generada hacia una dirección (en determinada distancia) y la densidad que emitirá una antena del tipo isotrópica dadas condiciones similares. Una antena del tipo isotrópica es un concepto ideal de antena que irradia uniformemente en todas las direcciones (Caprile, 2009), en otras palabras, una antena isotrópica no es en realidad una antena, se trata más bien de un concepto que se sirve como referencia para evaluar las antenas en función de la concentración de energía y pérdidas en la propagación en espacio libre. Dicha característica es medible utilizando como referencia el diagrama de radiación, el cual permite identificar el comportamiento de la directividad que tendrá la antena:
- Direccional: se trata de aquellas que dirigen la mayor parte de energía emitida como ondas de radio en una dirección, aumentando así la potencia generada hacia al objetivo y así se evitan interferencias producidas por la fuente. Aunque su núcleo de emisión es considerablemente pequeño, el alcance que tiene es proporcionalmente más grande. Para los radioenlaces punto a punto las antenas más óptimas son las de este tipo.
- Omnidireccionales: estas antenas están configuradas para emitir la misma cantidad de energía en 360°, es decir que son antenas que emiten energía en todas las direcciones, este tipo de antenas no requieren ser orientadas. Si las comparamos

con las antenas direccionales, encontraremos que se tiene un menor alcance. Este tipo de antenas es la que mejor características presenta para la conexión de un enlace punto a multipuntos.

- **Ganancia:** se refiere a la potencia con que se amplía la señal en la dirección máxima de la radiación. Puede describirse como una relación entre la potencia a la entrada y la salida en dB.
- **Diagrama de radiación:** (se trata de una representación gráfica de la radiación de una antena en función de su azimut y elevaciones establecidas). En la ilustración 7 puede obtenerse la información de otras importantes características como la directividad y el ancho de haz.

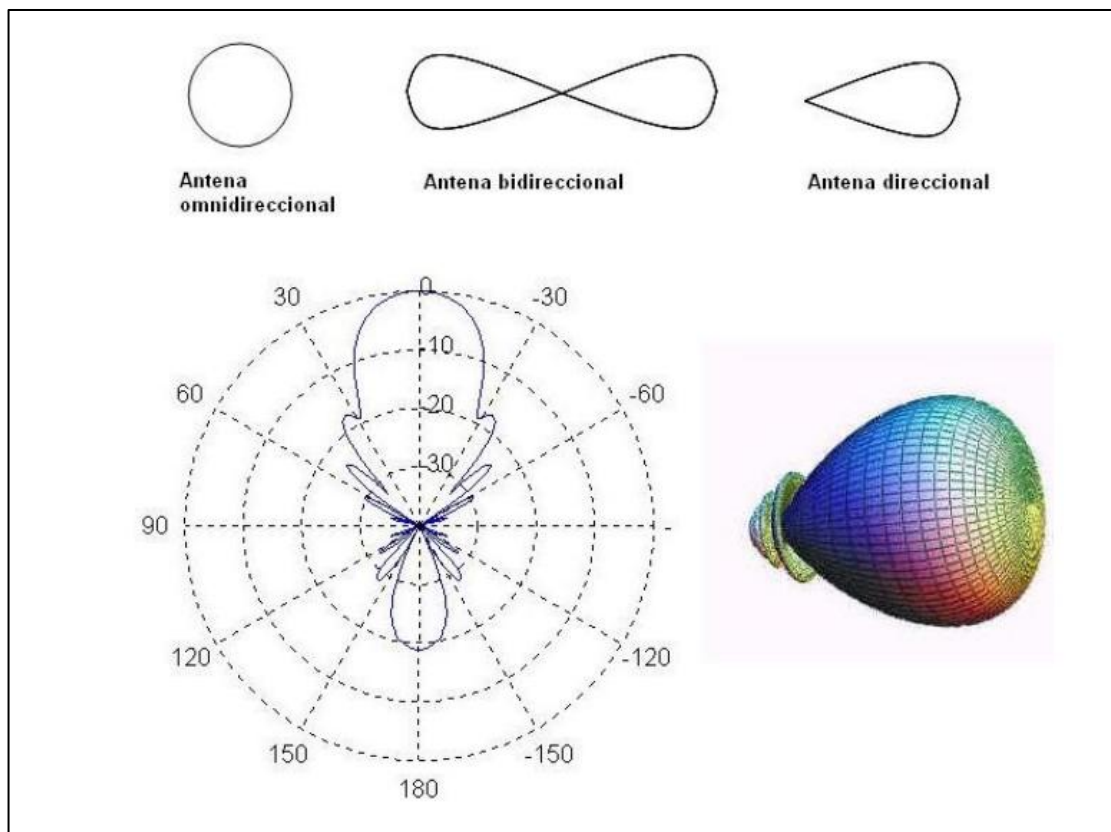


Ilustración 7 Diagrama de radiación de una antena [19].

La ilustración 7 representa el comportamiento de una antena y estas mismas existen de distintos tipos.

- Ancho de haz: se trata del espacio angular direccionable en el cual la potencia emitida se ve reducida a la mitad de su máxima potencia, esta característica se encuentra directamente relacionada con la ganancia, en el cual mientras se tenga una mayor ganancia de la antena, por consecuencia el ancho de haz será más estrecho.
- Ancho de banda: define el rango de frecuencia en la cual la antena se desempeña de manera óptima, en condición de las características estándares especificadas. Los límites son definidos en ambos puntos de la frecuencia central, a partir de esta información se podrá diseñar un sistema de banda ancha, debido a que la velocidad con la que se desee trabajar dependerá en gran parte; del ancho de banda.
- Frecuencia de trabajo: se refiere a la periodicidad con la que funciona una antena, la frecuencia con la que radia una antena está configurada desde el proceso de fabricación de esta misma.
- Polarización de antenas: se representa como una figura geométrica que se crea en una determinada dirección entre uno de los extremos del campo eléctrico, a una distancia dada de la antena respecto a una función de tiempo. Existen del tipo: lineal (horizontal o vertical de -45° o $+45^\circ$), circular y elíptica. La característica de la polaridad vertical es que tiene un campo eléctrico perpendicular a la tierra, la polaridad horizontal, la que dibuja un campo paralelo a la tierra. Las polaridades circular y elíptica pueden ser, hacia la derecha o hacia la izquierda. Es indispensable para asegurar que exista una correcta comunicación entre las antenas, que todas tengan una polaridad o polarización idéntica. [3]

En la ilustración 8 se observa el comportamiento de los distintos tipos de polarización que puede existir en un radioenlace.

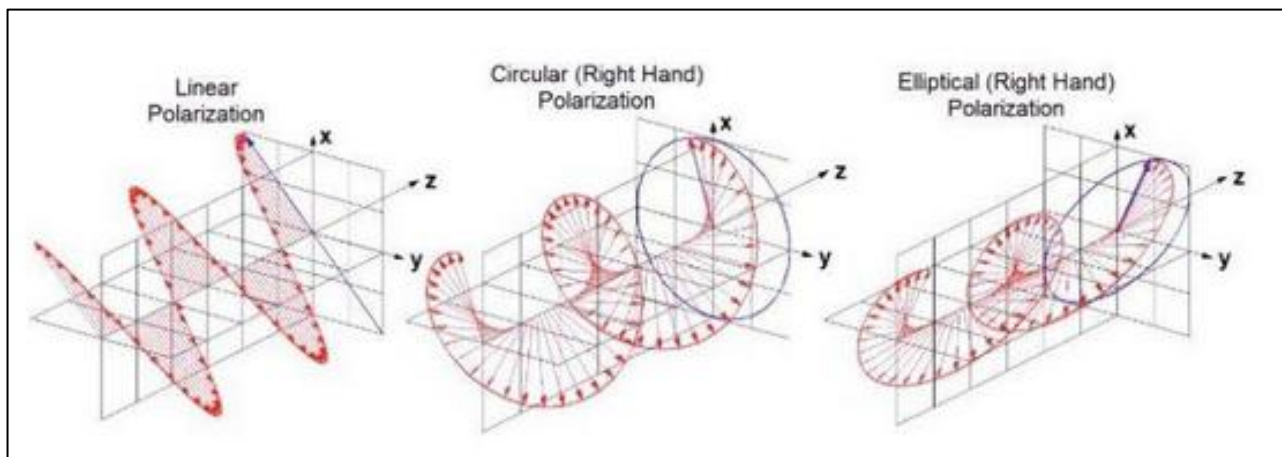


Ilustración 8 Tipos de polarización de una antena [20].

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y TECNOLÓGICA

2.1 Generaciones de tecnologías móviles

Primera Generación (1G)

La telefonía móvil o telefonía celular se creó en 1979 y fue de carácter analógico y estrictamente para el manejo de datos de voz. Con el paso del tiempo y su gran demanda tuvo que evolucionar para originar a la tecnología Code Division Multiple Acces (CDMA), la cual fue utilizada en proyectos de fines bélicos en la segunda Guerra Mundial aprovechando el ancho de banda de manera eficaz, permitiendo el acceso a más usuarios en el mismo canal de frecuencia, siendo la calidad del servicio su única limitante. La tecnología 1G utilizaba el método de acceso Frequency Division Multiple Access (FDMA) que asignaba una frecuencia única a cada usuario, ocasionando que las llamadas pudieran bloquearse sencillamente, además, operando en un ancho de banda limitado a 20MHz, lo cual hace considerar que la tecnología 1G era ineficiente. Al ser una tecnología analógica, los teléfonos de esa época eran demasiado grandes y la batería no era la mejor en cuestión de almacenar la carga.

En el caso de América la tecnología implementada fue la American Mobile Phone System (AMPS), la cual divide el espacio geográfico en celdas, así las celdas adyacentes no repiten frecuencia, evitando así interferencias. En el caso específico de Telcel aún ofrece este tipo de tecnología.



Ilustración 9 Mobile Telephone Service (MTS [21]).

Segunda Generación (2G)

La segunda generación de tecnología móvil hace su aparición en el año 1990, bajo el estándar europeo GSM, el cual utiliza la tecnología de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) y por lo general operan en un ancho de banda de 800 MHz. La gran diferencia entre esta tecnología y la anterior es que la 2G ya era una tecnología digital, además se emplearon protocolos que soportaban velocidades más altas para información de voz, contando con limitaciones en la comunicación de datos. Para esos años los teléfonos redujeron notablemente su tamaño y las baterías comenzaron a ser más eficientes. La tecnología 2G utilizó protocolos de codificación tan sofisticados que aun en la actualidad se utilizan en la tecnología celular actual. Las tecnologías predominantes de aquella época fueron:

- GSM: Global System por Mobile Communications.
- IS-136: comúnmente conocido como TIA/EIA-136 o ANSI-136.
- CDMA: Code Division Multiple Access
- PDC: Personal Digital Communications, solo fue utilizado en Japón.

Las velocidades que ofrecían los equipos 2G funcionaban entre 9.6 y 14.4 kbps. La compañía Telcel adoptó a la tecnología TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) como base para la construcción de su red. Por su parte las compañías

como Iusacell y Unefon, crearon su base de red con la tecnología CDMA (Code Division Multiple Access o Acceso Múltiple por División de Código).

La generación 2.5G fue una generación intermedia que ofrecía características extendidas de las tecnologías 2G como: General Packet Radio System (GPRS) que contaba con más capacidad de procesamiento y mayores redes. Las compañías móviles tanto de Europa como de Estados Unidos funcionaban con la tecnología 2.5G en 2001 y al mismo tiempo Japón saltaba directamente a la 3G.



Ilustración 10 Motorola International 3200 (2G) [22].

Tercera Generación (3G)

Con la llegada de la tercera generación de tecnología móvil llegaron nuevos beneficios para el intercambio de información pues ahora se envía de diversos tipos de datos, por ejemplo: audio, video y multimedia, esto a una rapidez de 144kbps

hasta los 2mbps. Lo cual permite servicio que demandan mayor ancho de banda como el acceso a servicio de internet, mails, transferencia de archivos y contenido multimedia. Como dato interesante podemos destacar que, en México, fue Iusacell la primera empresa en implementar y ofrecer los servicios de esta tecnología.

Dentro de la tercera generación o 3G de tecnología móvil se encuentra la Universal Mobile Telephone Service (UMTS). La creación de los estándares de la 3G fue impulsada por la Union Internacional de Telecomunicaciones conocida como ITU siendo conocido como IMT-2000 (International Mobile Telephone), el estándar formal para la tercera generación.

A finales del año 2001 en Japón comenzó a funcionar de manera operativa la primera red de tecnología de tercera generación, siendo esta desarrollada por la empresa del mismo país; NTT DoCoMo. Destacando la velocidad de 144 Kbps para navegación por internet mediante dispositivos móviles (teléfonos celulares) y llegando a sólo los 56Kbps en las computadoras personales. En cuanto al usuario su mayor ventaja es el intercambio de paquetes de datos desde cualquier lugar, mediante la utilización de su teléfono celular u otro dispositivo móvil que servía como un punto de acceso para el acceso a Internet, podía descargar archivos como; imágenes, música e incluso videos. La superación de las limitaciones técnicas de las tecnologías precedentes fue el propósito de la tercera generación y fue reafirmado con la correlación de audio y datos con acceso inalámbrico a servicio de internet, apps multimedia y altas transmisiones de datos.



Ilustración 11 Motorola RAZR (3G) [23].

Cuarta generación (4G)

El origen de la red 4G es atribuido a la empresa NTT DoCoMo y surgió a raíz de la idea de implementar terminales de base tanto como estaciones móviles prácticas, al inicio se especulaba que las redes 4G fueran capaces de transmitir datos a velocidad de hasta 100Mbps para la baja o descarga y hasta 20 Mbps para subida. Esta generación tenía como finalidad proveer una conexión solida de hasta 10Mbps para ser capaz de soportar y brindar multimedia bastante calidad como la reproducción de video en una definición considerable, intercambio de archivos gráficos de tamaños grandes y servicio de video en tiempo real. La tecnología de cuarta generación se consideraba con un complemento de su tecnología antecesora ya que se especulaba que las redes 4G mezclaran las redes 3G con sistemas inalámbricos. En el 2009, la Unión Internacional de Telecomunicaciones por Radio (ITU-R) estableció la meta de la velocidad de 100Mbps para el 2010 en Tokio. Pero contrario a lo deseado, los primeros dispositivos 4G tenían una tasa de transferencia de 4 Mbps, con ese ancho de banda fue posible la realización de videoconferencias, descarga de contenido multimedia, audio, etc. Estaban equipados con 20 a 100 Gigabytes de almacenamiento y servían como videoteléfono, servidor de navegador de Internet, mensajero, reproductor de multimedia, videocámara o como módem para laptops. [4]



Ilustración 12 iPhone 5 4G [24].

Quinta generación (5G)

La red de quinta generación de tecnología móvil o celular. Fue desarrollada para agregar velocidad, disminuir la latencia y brindar mayor flexibilidad en cuanto a servicios inalámbricos. En teoría los servicios móviles 5G ofrecen velocidades máximas de 20 Gbps, en comparación con la tecnología 4G donde la velocidad máxima es solo de 1 Gbps. La red 5G cumple como característica tener una menor latencia, lo que representa un mayor rendimiento de aplicaciones y experiencias digitales (como juegos en línea, videoconferencias y automóviles con piloto automático. [5]

La quinta generación de tecnología celular inalámbrica o 5G, ofrece velocidades ampliamente mayores para la carga y descarga de paquete de datos, conexiones más sólidas y con una mayor capacidad comparada con las redes anteriores. Las redes de 5G en comparación con las 4G son más rápidas y confiables.

Al igual que las redes celulares anteriores, la tecnología de quinta generación hace uso de enlaces de telecomunicaciones que transfieren datos mediante ondas de radio. Los enlaces de telecomunicaciones se interconectan a las redes con

tecnología inalámbrica o con conexión de tipo cableada. La 5G funciona modificando la manera en que se codifican los datos, traduciéndolo en un aumento significativo en el número de ondas aéreas utilizables para los operadores. [6]

La red 5G utiliza la tecnología OFM (multiplexación por división de frecuencia ortogonal), y a su vez la OFDM es una parte esencial de la tecnología 5G. Cuando hablamos de OFDM nos referimos a una forma de modulación que codifica las ondas aéreas de banda alta que no son compatibles con la tecnología 4G ofreciendo una menor latencia y a su vez una mayor flexibilidad comparada con las redes LTE.

Torres más pequeñas

Otra característica de la tecnología 5G, es que, también hace uso de transmisores (torres) de menor dimensiones ubicadas en edificios u otras infraestructuras o lugares de grandes alturas. Una característica de las tecnologías de cuarta generación (4G), así como las anteriores dependían de torres móviles independientes unas de otras (torres de telecomunicaciones). Esta característica de hacer funcionar una red desde pequeñas instalaciones celulares permitirá utilizar muchos dispositivos a velocidades mayores.

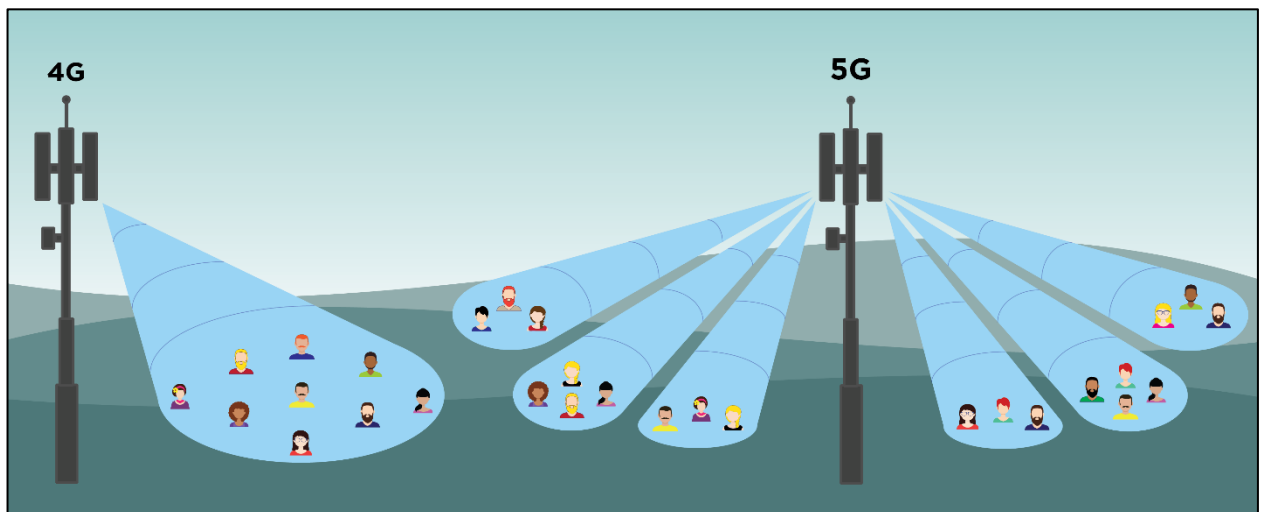


Ilustración 13 Diferencia entre el alcance de las torres 4G y 5G [25].

Como podemos observar en la ilustración 13 las torres de tecnología 5G pueden brindar de servicio a más usuarios al mismo tiempo a comparación de las torres 4G.

Segmentación de red

La tecnología 5G es utilizado por los operadores de redes móviles para desplegar múltiples redes virtuales independientes dentro de la misma construcción. Puede adaptarse cada segmento de red para fines distintos como servicios y casos de empresa, por ejemplo: los servicios de streaming o tareas empresariales. Al formar un conjunto de funciones de tecnología de quinta generación (5G) puede ser adaptable a cada caso de uso, así como a modelos de negocio específicos. La segmentación de los servicios significa que los usuarios se ven beneficiados de una experiencia más íntegra y una mayor eficiencia en cada uno de sus dispositivos. [7]

A pesar de que la tecnología de quinta generación trabaja y se desempeñan en las mismas radio frecuencias que las tecnologías que lo preceden, existen muchas diferencias que son clave entre el 5G y el 4G, el 4G LTE y el 3G.

Dichas diferencias se mencionan en seguida:

- Mayor velocidad: Las redes de quinta generación llegan a alcanzar velocidades de hasta 10 Gbps, lo que significa que este tipo de tecnología es hasta 10 veces más rápidas que las redes 4G. Es decir que algunas de las actividades que se tornaban lentas y tediosas, como, por ejemplo; descarga de películas o crear copias de seguridad de bases de datos, ahora con el uso de esta nueva tecnología reduzca el tiempo de espera considerablemente.
- Baja latencia: la baja latencia ha sido crítica para dar un gran paso en cuestión de velocidad. La latencia puede definirse como el retraso o tiempo que transcurre entre el intercambio de la información. Las redes de cuarta generación alcanzaban una latencia de unos 200 milisegundos. Y con la tecnología 5G se logra reducir increíblemente a solo 1 milisegundo.
- Mayor ancho de banda: La tecnología de quinta generación es capaz de trabajar en una escala de mayor amplitud de ancho de banda como lo son la: banda baja, banda media, banda alta. La 5G es operable tanto para bandas bajas, así como para ondas

milimétricas, lo que aumenta considerablemente la capacidad, al igual que el rendimiento en varios Gbps y disminuye la latencia. Esto significa que es posible realizar la conexión de más dispositivos para transferir datos en el momento que se desee. Es decir, el 5G es una tecnología que puede adaptarse para funcionar con los elementos existentes para poder trabajar de manera óptima.



Ilustración 14 Sistema de Cerradura con tecnología 5G [26].

2.2 Simuladores

Actualmente, en muchas áreas de conocimiento se utilizan programas o herramientas de simulado. Representan un componente esencial para la realización del diseño, implementación y monitoreo de las redes de comunicación, pues permiten analizar el comportamiento en determinados eventos que afectan directamente el desempeño de la red existente, es decir, una herramienta de simulado o simulador ayuda a observar gráficamente el comportamiento de determinado proceso sin necesidad de llevarlo al mundo real y así evitar gastos en materiales necesarios para realizarlo físicamente.

Para este proyecto se evalúan tres herramientas de simulación para la simulación de conectividad de radioenlaces, así como el análisis de estos mismos, dichas herramientas de simulado son:

1. Radio mobile.
2. Xirio (PlaningTool).
3. LINKPlanner.

Radio Mobile

La historia de la herramienta de simulación radioelétrica Radio Mobile se remonta al año 1998 cuando Roger Coude instituyó un software gratuito, hoy se conoce como Radio Mobile. Este software de simulado de enlaces microondas o sistemas de radioenlace permite el análisis y la planificación del funcionamiento de un sistema de radiocomunicación tanto fijas como móviles desde un rango que va desde los 20 MHz a 20 GHz. Con esta herramienta tenemos la capacidad de realizar cálculos y así obtener los datos necesarios para el planteamiento de los radioenlaces y no recurrir a la tediosa tarea de hacer los cálculos manualmente: conseguir los datos topográficos para hacer los cálculos respectivos del espacio por el que cruza nuestro radioenlace, para posteriormente considerar los demás aspectos operativos que son necesarios para un correcto enlace. Todas las estimaciones en cuanto a cálculos de radioenlaces deben ser representadas en un mapa de cobertura para el cual se deberán utilizar tres aspectos esenciales los cuales son los siguientes:

- 1.- **Mapa de trabajo**, el cual se elabora a partir de algún modelo digital de terreno
- 2.- **Mapa topográfico**, generado mediante cartografía específica se puede utilizar la de Google Earth o Google Maps, etc.
- 3.- **Mapa de cobertura**, creado mediante el uso de algoritmos de cálculos como el de propagación Longley-Rice

El mapa resultante se obtendrá como resultado de fusionar las tres capas mencionadas anteriormente. En cuanto a las características de transmisión y recepción, estas son modificables.

Al utilizar simuladores podemos contar con la ventaja de que se pueda analizar la cobertura del radioenlace de forma individual en caso de ser necesario. Este programa es tan eficaz que es comparable con otros programas de pago.

Resumiendo, Radio Mobile es un software gratuito para realizar simulación de radioenlaces que sirve para ayudarnos a generar análisis de sistemas radioenlaces.

Si bien Radio Mobile es una herramienta bastante buena, debemos también considerar algunas características que pueden ser no tan funcionales, una de ellas es que Radio Mobile a pesar de ser un software gratuito, inconvenientemente no cuenta con un instalador automático oficial del programa y debemos seguir una serie de indicaciones y configuraciones básicas antes para poder ser utilizado. También es importante mencionar que debemos obtener datos de ubicación geográfica mediante herramientas como Google Earth o Google Maps y posteriormente importando los mismos a la herramienta de simulado. [8]

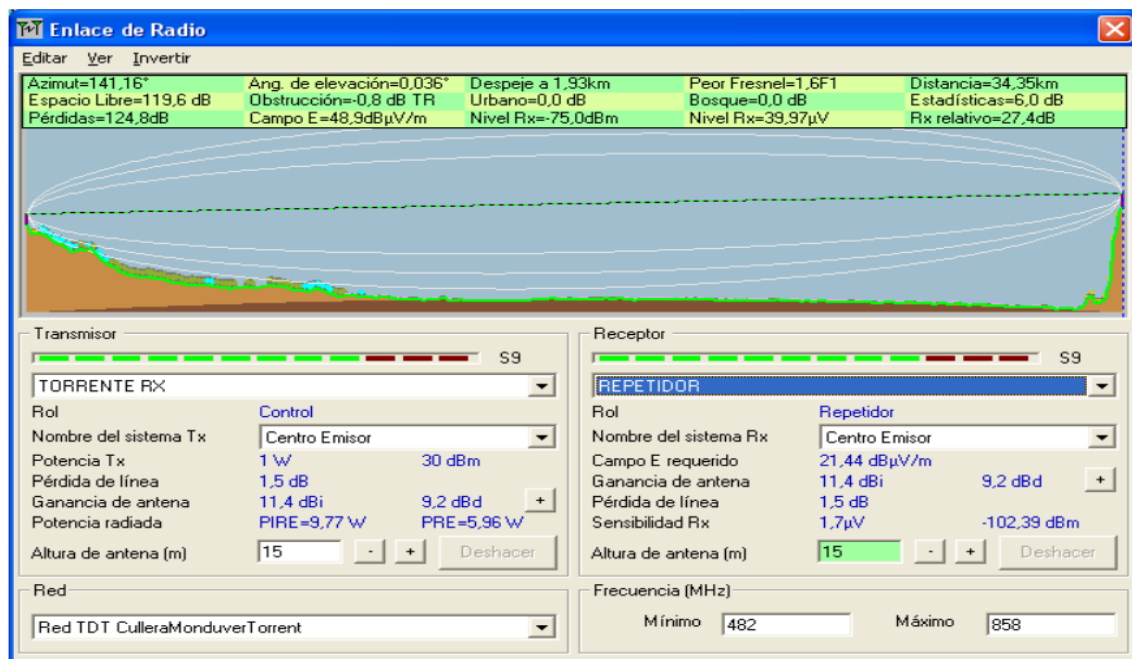


Ilustración 15 Vista del simulador Radio Mobile

La ilustración 15 nos muestra una vista de la herramienta en uso, así como de los datos que en ella podemos observar.

Xirio (PlaningTool)

La próxima herramienta de simulado de telecomunicaciones es “Xirio” es desarrollada por la empresa “Aptica”; es una empresa que se dedica a proveer servicios de consultoría, así como de ingeniería desarrollar productos

enfocados en el análisis, construcción, operación y supervisión de sistemas de telecomunicaciones. La empresa “Aptica” brinda soluciones innovadoras y de valor agregado para hacer frente al reto de implementar nuevos sistemas de comunicaciones o realizar un cambio tecnológico sobre las mismas.

Xirio Online es posiblemente la manera más rápida y económica de generar simulaciones de manera profesional para cobertura radioeléctrica en cualquier punto terrestre. Este simulador no necesita ser instalado de manera local en algún ordenador y tampoco requiere de actualizaciones ya que es posible el acceso a dicho recurso desde algún navegador web en cualquier parte de mundo en la que se cuente con servicio de internet.

Mediante esta herramienta podemos de manera simple; realizar cálculos, compartir y publicar resultados en la red sin la necesidad de otras herramientas de planificación o de cartografía digital, basándose en un modelo denominado: SaaS (Software as a Service).

La tecnología de la herramienta Xirio es capaz de utilizar cartografía urbana y rural de alta resolución a nivel mundial, volviéndolo muy rentable ya que pone a nuestra disposición la configuración más apropiada para cada escenario posible realizando un análisis de costos mínimos. [9]



Ilustración 16 Vista de la página de acceso a Xirio

LINKPlanner

La herramienta LINKPlanner es un software creado por la empresa Cambium Networks, dicha herramienta permite a las personas interesadas en el diseño de redes inalámbricas; planificar, analizar y optimizar redes de banda ancha inalámbricas para entornos exteriores. Esta herramienta fue originalmente diseñada en específico para ingenieros y diseñadores de redes que necesitaban crear conexiones de banda ancha inalámbricas confiables punto a punto (PTP) y punto a multipunto (PMP). Con la herramienta LINKPlanner, estos usuarios podían importar mapas topográficos para una mejor ubicación, así como trazar nodos y configurar dispositivos que componen la red o el sistema de telecomunicaciones. Esta herramienta, además, proporciona una amplia variedad de funciones para la optimización de recursos, incluida la asignación automática de frecuencia lo cual nos ayuda para ahorrar el análisis de dicha necesidad, ya que interpreta la necesidad y nos sugiere lo ideal para nuestros sistemas radioenlace, la creación de perfiles de ruta y la planificación de capacidad. Es de suma importancia mencionar que LINKPlanner cuenta con un selector de equipos incorporado que sugiere el

mejor hardware (componentes físicos para el radioenlace) para un diseño de red determinado.

Además, el software permite a los diseñadores de la red, crear informes detallados del proyecto en cuestión, en el cual se incluyen todas las configuraciones y características de los equipos, mapas de topología y costos estimados de equipos propios. Los informes se pueden personalizar para cumplir con los requisitos específicos del cliente o de la organización. LINKPlanner actualmente admite las plataformas inalámbricas de Cambium Networks, incluidas PTP microondas, PMP 450, ePMP y cnWave. La herramienta se ejecuta en los sistemas operativos Windows y MacOS y está disponible para los clientes registrados de Cambium como descarga gratuita. LINKPlanner simplifica el proceso de diseño de redes inalámbricas de banda ancha y ayuda a los ingenieros a ahorrar tiempo y garantizar el éxito.

Para poder planear un enlace punto a punto (PTP) o un enlace punto a multipunto (PTMP) se debe recopilar cierta información necesaria, como lo son las coordenadas de cada punto del enlace; para el caso de LINKPlanner se pueden obtener dentro del mismo sistema ya que tiene la tecnología de *Google maps* integrada. Altura a la que se puede instalar cada uno de los puntos (con respecto al suelo). [10]

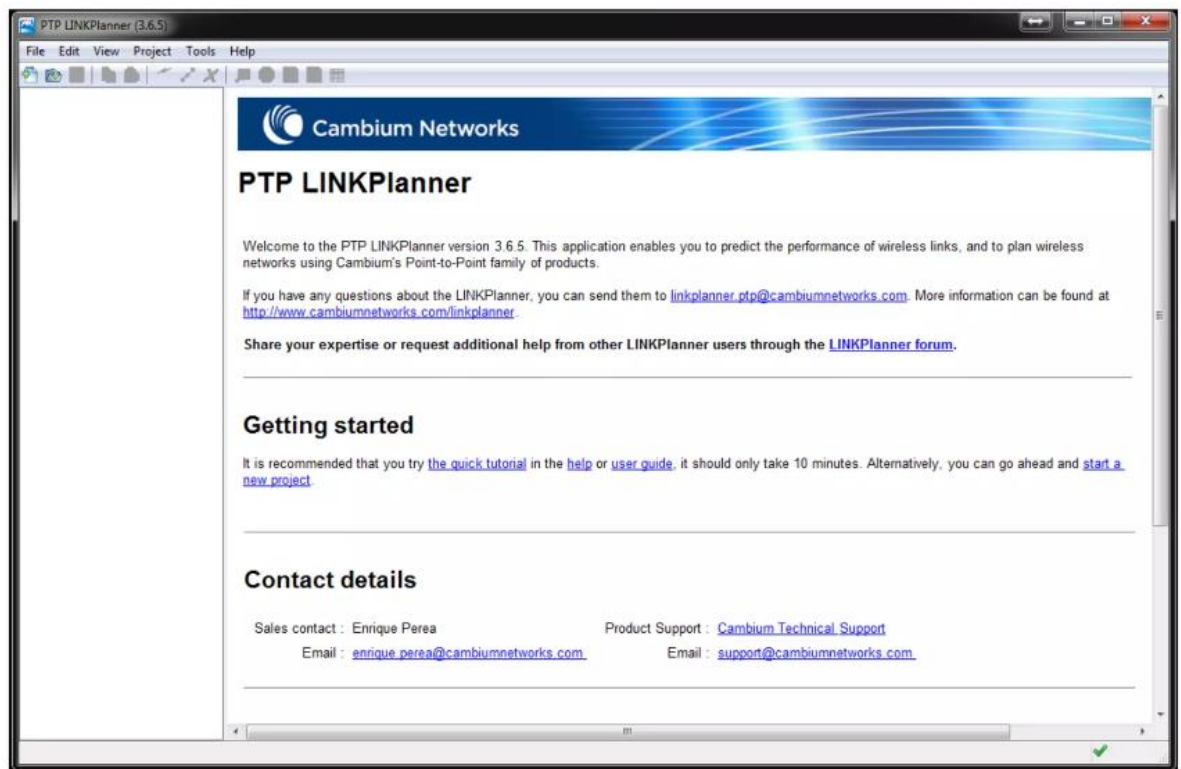


Ilustración 17 Vista de la herramienta LINKPlanner

Comparativa de simuladores

Cuando se desarrolla un proyecto en el cual tenemos la facilidad de contar con herramientas que nos ayuden a simplificar o hacer estudios y análisis de manera más cómoda evitando llevar nuestro proyecto forzosamente al plano físico, siempre es importante hacer un análisis y valoración de cada una de las opciones de herramientas con las que contamos para poder detectar los puntos fuertes de cada una y así saber que herramienta es la que más podría aportar a nuestro proyecto pues de caso contrario podríamos elegir una opción que si bien nos ayude; no sea la óptima para el correcto desarrollo del proyecto en cuestión. Por ello es recomendable hacer un cuadro comparativo para detectar que elemento, sistema, herramienta, etc. es la mejor de acuerdo con nuestras necesidades.

Tabla 1. Comparativa de simuladores

Característica	Radio Mobile	Xirio	LINKPlanner
Funcionalidad	Cálculo de radioenlaces de larga distancia en terreno irregular	Simulación y análisis de coberturas radioeléctricas en línea	Planificación de redes de radiofrecuencia, especialmente para productos Cambium Networks
Interfaz	Aplicación de escritorio	Basada en la web	Aplicación de escritorio
Características	Modelos de predicción troposférica, perfiles geográficos, mapas SRTM, GTOPO30 y DTED	Elevación del terreno, atenuaciones atmosféricas, mapas topográficos y de Google Maps	Planificación de redes punto a punto y punto a multipunto, integración con perfiles de ruta
Usabilidad	Libre distribución, ideal para simulaciones detalladas en terrenos irregulares	Acceso desde cualquier dispositivo con conexión a Internet	Ideal para productos Cambium Networks, resultados precisos
Costo	Gratuito	Pago por uso	Gratuito

Después de hacer un análisis y tomando en cuenta nuestras necesidades (utilizar una herramienta gratuita, generar la simulación de un radioenlace, obtener puntos geográficos, calcular distancias generar un reporte de instalación, etc.) se llegó a la conclusión de que para el desarrollo del presente proyecto se utiliza la herramienta de simulado “LINKPlanner” ya que es la herramienta idónea, debido a las características que presenta ya que son las que más se adaptan a las necesidades y propósitos del proyecto a desarrollar.

CAPÍTULO 3

PROCESO METODOLÓGICO Y CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL

3.1 Diseño de prototipo de laboratorio.

El presente trabajo de tesis se desarrolla con la ayuda de software de modelado y diseño de sistemas radioenlaces enfocados a los sistemas punto a punto o P2P.

En la ilustración siguiente se puede observar la estructura general del sistema a modelar que fue diseñado con recursos de hardware – laptop Huawei matebook D15 con sistema operativo Windows 10 en la cual se instaló Cambium Networks LINKPlanner versión 5.7.3 en donde se realizó el sistema de radioenlace punto a punto con componentes como lo son antenas y un throughput de 100Mbps.

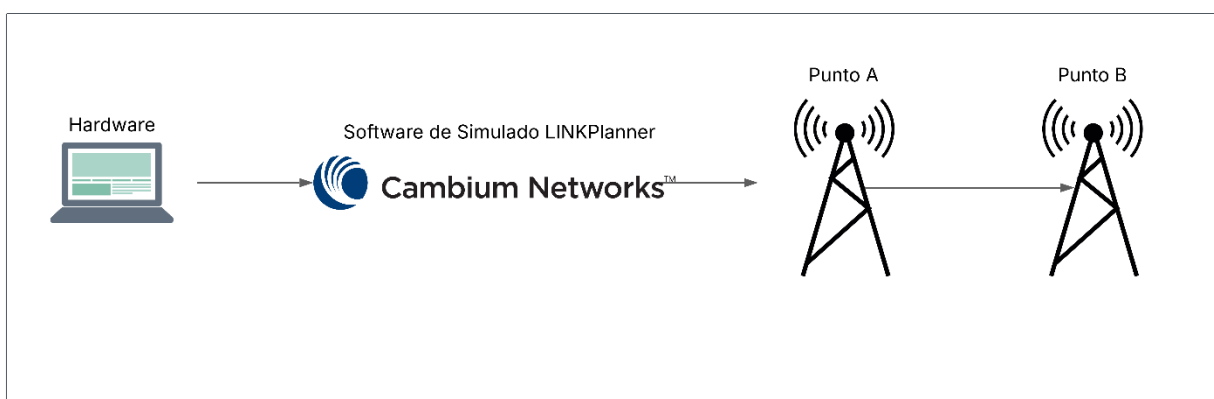


Ilustración 18 Diagrama del prototipo (elaboración propia)

La ilustración 18 nos da un panorama general sobre la estructura que conforma nuestro sistema simulado de radioenlace punto a punto. Para iniciar debemos contar indispensablemente con el recurso de hardware sobre el cual se desarrollará el proyecto con ayuda de un programa o software de simulación de sistemas radioenlaces; en el cual se debe generar el simulado de dos puntos (A y B) que representan cada torre del sistema radioenlace al menos para este proyecto; aunque para el diseño de enlaces multipuntos pueden ubicarse más puntos. En los cuales se configuran las características de los componentes como lo son las antenas y algunas características como el ancho de banda del enlace mismo, alturas de los dispositivos. Frecuencias, etc.

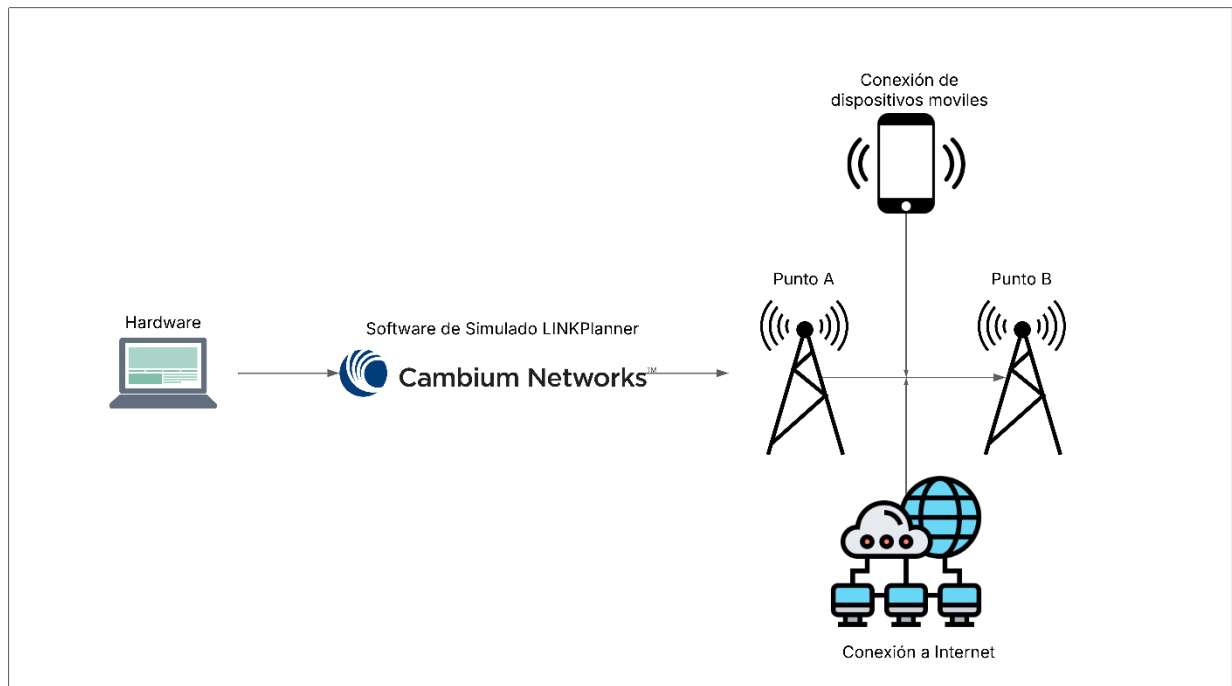


Ilustración 19 Diseño de dispositivos finales (Elaboración propia)

La ilustración 19 nos permite observar el diseño que es necesario para el funcionamiento de un sistema de radioenlace o enlace microondas la interconexión de los dos puntos o dispositivos de transmisión y recepción (Punto A y Punto B) para que de este modo y teniendo en función dicho sistema de comunicación; puedan intercambiar información con los usuarios o dispositivos finales, en este caso representados por la conexión de dispositivos móviles a la red y también sea posible la conexión a internet.

3.1.1 LINKPlanner (Software)

Se usará LINKPlanner versión 5.7.3 en donde se configurarán dos sites o puntos que son necesarios para la transmisión-recepción del sistema radioenlace.

Para el desarrollo del proyecto se tiene como base los siguientes requerimientos a cumplir para validar que el desarrollo de este ha sido exitoso, por lo que, el diseño de radioenlace debe garantizar cumplir con estas tres características.

3.1.2 Ubicación de los sitios

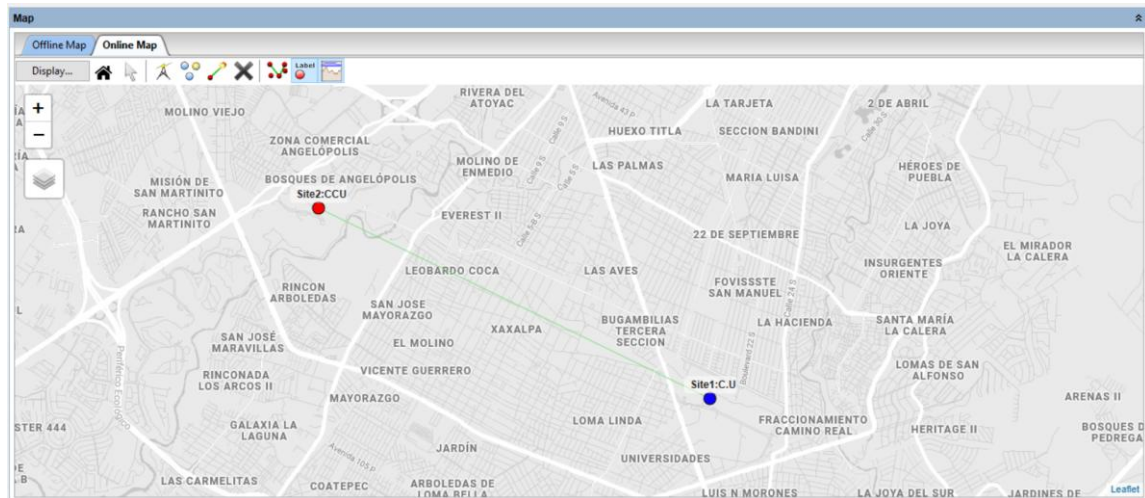


Ilustración 20 Ubicación de los puntos de nuestro radioenlace

En la ilustración 20 se puede observar la vista en mapa de la ubicación de los sitios que conforman el sistema de comunicación radioenlace, mismo que también muestra la trayectoria esperada mediante una línea que interconecta ambos puntos del radioenlace, cabe mencionar que para el presente proyecto que los puntos o site se encuentran hipotéticamente ubicados en edificios pertenecientes a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla quedando el site 1 en la parte superior de la torre de gestión académica y servicios administrativos al interior de Ciudad Universitaria la cual tiene una altura aproximada de 94 metros y el site 2, por su parte se encuentra ubicado en uno de los edificios más altos del Complejo Cultural Universitario perteneciente a la BUAP el cual inferimos que mide aproximadamente 20 metros de altura. Para este diseño, cabe mencionar que ambos puntos o site son imaginarios. Al mismo tiempo agregamos el enlace entre ambos sitios que está representado por la línea que une ambos componentes.

Dentro de LINKPlanner se pueden importar las ubicaciones desde Google earth, maps u otros servicios de ubicación mediante archivos .KMZ o indicar directamente sobre el mapa online que tiene la propia herramienta, lo cual se hizo en este caso ya que se considera eficiente y representa a su vez un ahorro de tiempo.

3.2 Configuraciones y puesta en marcha del radioenlace

A continuación, se puede visualizar la interfaz de LINKPlanner, y la pantalla de configuración del primer punto del radioenlace o el punto A correspondiente al nombre de Ciudad Universitaria, en este caso es el punto de transmisión.

En la ilustración 21 se puede observar las configuraciones globales o generales del primer punto del sistema radioenlace. De las opciones se eligen las que se desee hacer un análisis.

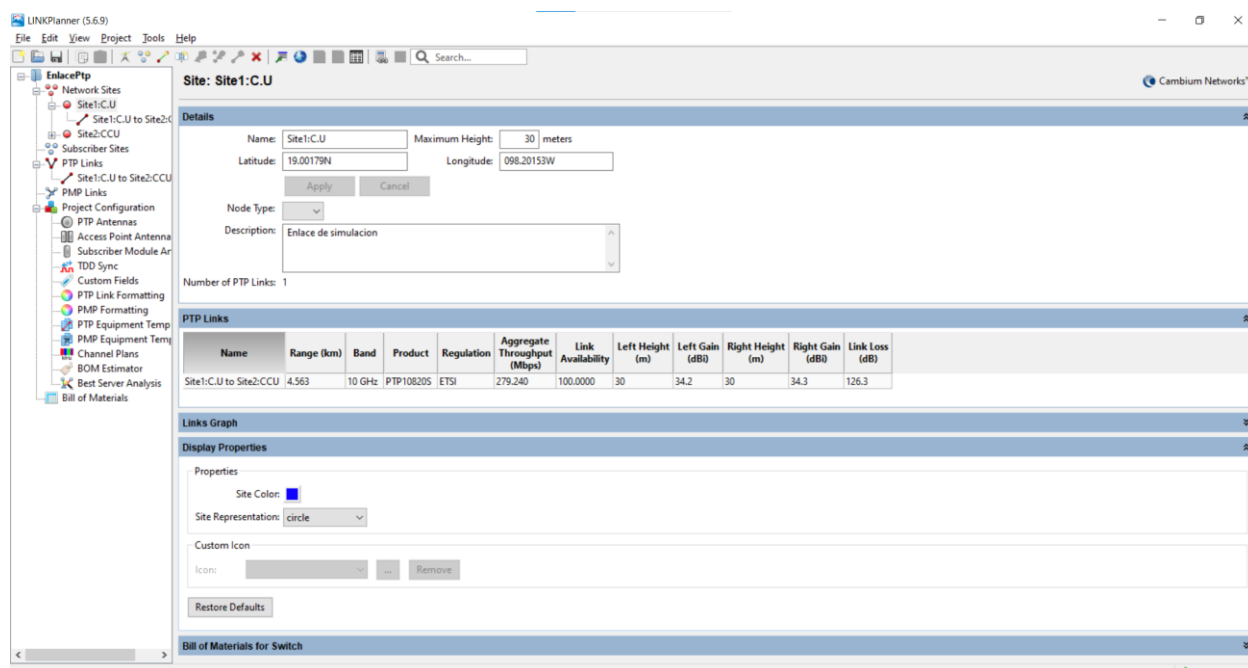


Ilustración 21 Configuraciones generales del punto A

Se puede apreciar los formularios donde podemos agregar o asignar ciertas especificaciones generales como lo son:

- Nombre del sitio o punto (C.U para este caso)
- Máxima altura disponible (hay que considerar también la altura del edificio en el cual se instalara)
- Datos geográficos (latitud y longitud) que se obtiene mediante el mapa online que contiene el propio software de simulado
- Rango o distancia del enlace en km
- Así como un espacio para descripción del sitio

Del mismo modo se continúa explorando cada una de las pestañas del lado derecho de la pantalla del apartado **Link**: se encuentran más configuraciones como:

- El ancho de banda
- El nombre del producto a utilizar (antena)
- El tipo de regulación
- Modulación
- Tipo de polarización
- Un esquema grafico del comportamiento del enlace según la altura de ambos sitios o puntas
- La configuración general de cada sitio

Una vez ubicados ambos sitios del sistema de comunicación radioenlace se procede a realizar un análisis visual de la línea de vista (Line Of Sight LOS) y ver si contamos o no con la misma. Dentro del software se puede agregar interferencias no previstas en el mapa geográfico por ejemplo un árbol de altura considerable, algún anuncio tipo espectacular, otros edificios, etc.

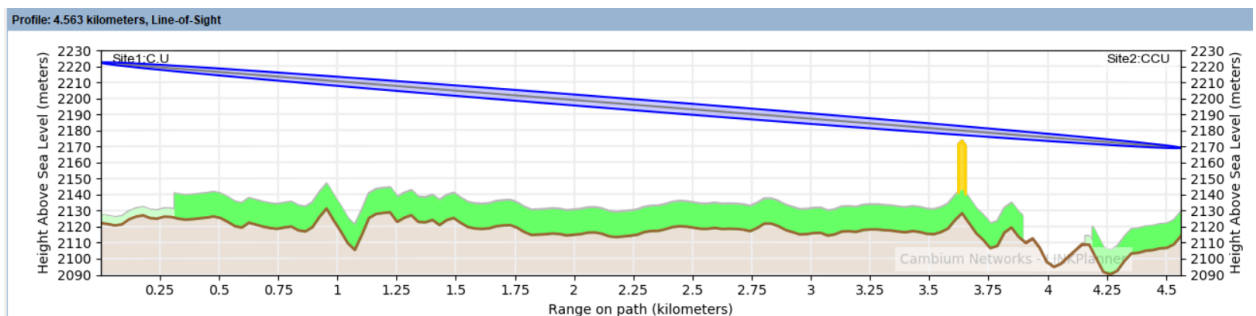


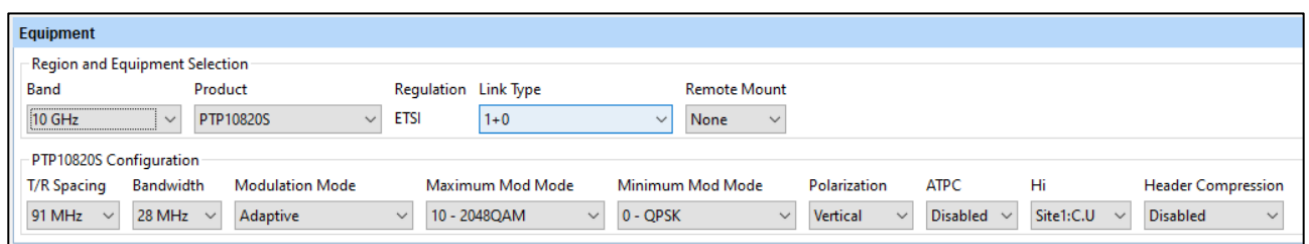
Ilustración 22 línea de vista y análisis de campo

En la Ilustración 22 se pueden observar detalles importantes, en primer lugar, se observa que el rango o distancia del enlace es de un poco más de 4.5 km lo cual no es una distancia muy larga a comparación de otros radioenlaces. Además, la altura de ambas torres es de 100 metros y 55 metros respectivamente, hay que tener presente que la altura de las torres se calcula o tomando en cuenta la altura de los edificios sobre los cuales estarán instalados, por ejemplo, para el punto o sitio A o denominado C.U la altura aproximada de la Torre de Gestión de la BUAP es de 94 metros así que agregamos otros 6 metros más para llegar a los 100 metros, de este modo resolvemos que existe línea de vista por lo cual no hay que modificar alturas.

Se observa también una parte de color verde que indican las interferencias existentes en el trayecto del radioenlace, los cuales por defectos son en su mayoría árboles o edificios existentes, aun así, en la parte que sobresale y que es perceptible cerca de la línea de vista se asignó una interferencia de 30 metros extra por mera función ilustrativa. En el caso de detectar que exista un objeto de mayor altura que interfiera en la ruta de enlace o línea de vista sería necesario aumentar la o la altura pertinente de los sitios para poder tener línea de vista.

Una vez realizado el análisis podemos decir que tenemos línea de vista ✓, que es uno de los requisitos principales para poder continuar con el desarrollo del proyecto y que este se pueda cumplir satisfactoriamente.

Ahora se evalúa el componente o equipo radiante, es decir el radio de transmisión, como se muestra en la ilustración 19.



Equipment									
Region and Equipment Selection									
Band	Product	Regulation	Link Type	Remote Mount					
10 GHz	PTP10820S	ETSI	1+0	None					
PTP10820S Configuration									
T/R Spacing	Bandwidth	Modulation Mode	Maximum Mod Mode	Minimum Mod Mode	Polarization	ATPC	Hi	Header Compression	
91 MHz	28 MHz	Adaptive	10 - 2048QAM	0 - QPSK	Vertical	Disabled	Site1:C.U	Disabled	

Ilustración 23 Configuración inicial del equipo de radio.

Generalmente LINKPlanner da una opción por defecto para utilizar cierto tipo de radio según crea conveniente, aunque por las especificaciones que cada proyecto no siempre será la mejor opción, entonces se puede cambiar y validar el tipo de componente radiante que mejor convenga para el proyecto. En este caso se comparan los elementos dados por LINKPlanner con los requerimientos especificados en el punto 3.1.1, y que en este caso son los siguientes:

Throughput = 100 Mbps

Margen = 10 - 15 db (que refiere a la ganancia o pérdida de la señal)

Disponibilidad 99.99%

LINKPlanner nos brinda configuraciones de frecuencia y ancho de banda de acuerdo con los datos que proporcionamos al programa, aunque es de importancia mencionar que no siempre son los óptimos y debemos verificarlo teniendo en cuenta nuestros requisitos para el radioenlace. Para este caso en específico nos ha sugerido una frecuencia inicial de 10 GHz y un ancho de banda de 28 MHz y antena PTP108205 con las cuales nosotros obtenemos los siguientes datos:

Performance Details											
Charts Details											
Common details											
Mode:	2048QAM	1024QAM	1024QAM	512QAM	256QAM	128QAM	64QAM	32QAM	16QAM	8PSK	QPSK
Profile:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	519.15	475.88	449.17	411.89	388.50	338.05	279.24	228.88	172.38	122.57	84.27
Performance to Site1:C.U											
Max IP Throughput (Mbps):	259.57	237.93	224.59	205.95	193.25	168.03	139.62	113.44	88.18	61.29	42.14
Fade Margin (dB):	14.77	20.27	20.97	25.27	28.47	31.57	34.47	37.47	42.17	43.87	53.12
Mode Availability (%):	99.9957	99.9988	99.9990	99.9996	99.9998	99.9999	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9957	0.0031	0.0002	0.0007	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Ilustración 24 Datos obtenidos con una frecuencia inicial de 10GHz

La ilustración 24 nos deja observar los datos obtenidos en diferentes modos de operación de nuestro enlace que son reconocibles por la palabra QAM, dentro de la tabla debemos buscar los datos de nuestro interés.

En esta configuración podemos observar el informe de los tres datos que requiere el cliente o las especificaciones que requiere el proyecto. Iniciando con el Throughput que para este caso sobrepasa de los 500 Mbps, lo cual es 5 veces más grande de lo que se requiere o de lo que se pide para el proyecto, se continua con la ganancia o pérdida de señal conocida como el Margen o Fade Margin (dB), el cual debe estar entre 10-15 dB. Si se observa que solo se cumple dicha condición cuando el Modo (Mode) es de 2048QAM con un valor de **14.77** el cual cumple la condición dada. Se procede a revisar la última de las condicionales propuestas y esta es la disponibilidad del 99.99%; es decir que nuestro sistema radioenlace garantice que estará trabajando casi el 100% del tiempo, y si se observa la tabla se distingue que en todos los modos de trabajo se cumple esta condición.

Recapitulando las condiciones que se solicitaron en la configuración se tiene que es de 10GHz de frecuencia en la que trabaja el radioenlace y se determina que el enlace propuesto es funcional; pero, si se analiza el primer componente (Throughput) se observa es mucho mayor al que se necesita, y se concluye que representa mucha capacidad de transferencia que no será utilizada.

Para resolver este inconveniente, de tener mucha capacidad de transmisión que será desperdiciada ya que el requisito de capacidad es mucho menor al obtenido con la configuración actual, se evalúa el radioenlace con otros valores de frecuencias y ancho de banda. También se analiza el comportamiento con diversas antenas. Dado que la distancia del radioenlace es pequeña, poco más de 4 kilómetros, se pueden utilizar antenas con ganancia integrada o antenas pequeñas, ya que utilizar antenas muy grandes es más costoso y se puede caer en el mismo error de aumentar capacidades que no son necesarias por el momento.

Analizando las configuraciones y los resultados obtenidos, se procede a realizar un nuevo diseño hasta encontrar un enlace óptimo que no represente pérdida de potencial o costos innecesarios.

En esta ocasión como primer cambio se propone adecuar la frecuencia de 10GHz a 5.8GHz:

The screenshot shows a configuration window titled "Equipment". It is divided into two main sections: "Region and Equipment Selection" and "PTP670 Configuration".

Region and Equipment Selection:

- Band:** 5.8 GHz (dropdown menu)
- Product:** PTP670 (dropdown menu)
- Regulation:** Argentina (Private) (dropdown menu)
- Precise Network Timing:** Disabled (dropdown menu)

PTP670 Configuration:

- Bandwidth:** 45 MHz (dropdown menu)
- E1/T1:** None (dropdown menu)
- Optimization:** IP (dropdown menu)
- Sync:** Disabled (dropdown menu)
- Symmetry:** Symmetric (dropdown menu)
- Dual Payload:** Enabled (dropdown menu)
- Highest Mod Mode:** 256QAM 0.81 (dropdown menu)
- Lowest Ethernet Mode:** BPSK 0.63 Sngl (dropdown menu)
- Master:** Site1:C.U (dropdown menu)

Ilustración 25 Frecuencia a 5.8 GHz

De la nueva configuración se observa que además de la frecuencia se ha seleccionado por defecto la de Argentina lo cual no es problema porque se puede simplemente desplegar el menú y en este caso podemos seleccionar la regulación que necesitemos en específico si está disponible o en su defecto se selecciona "Other".

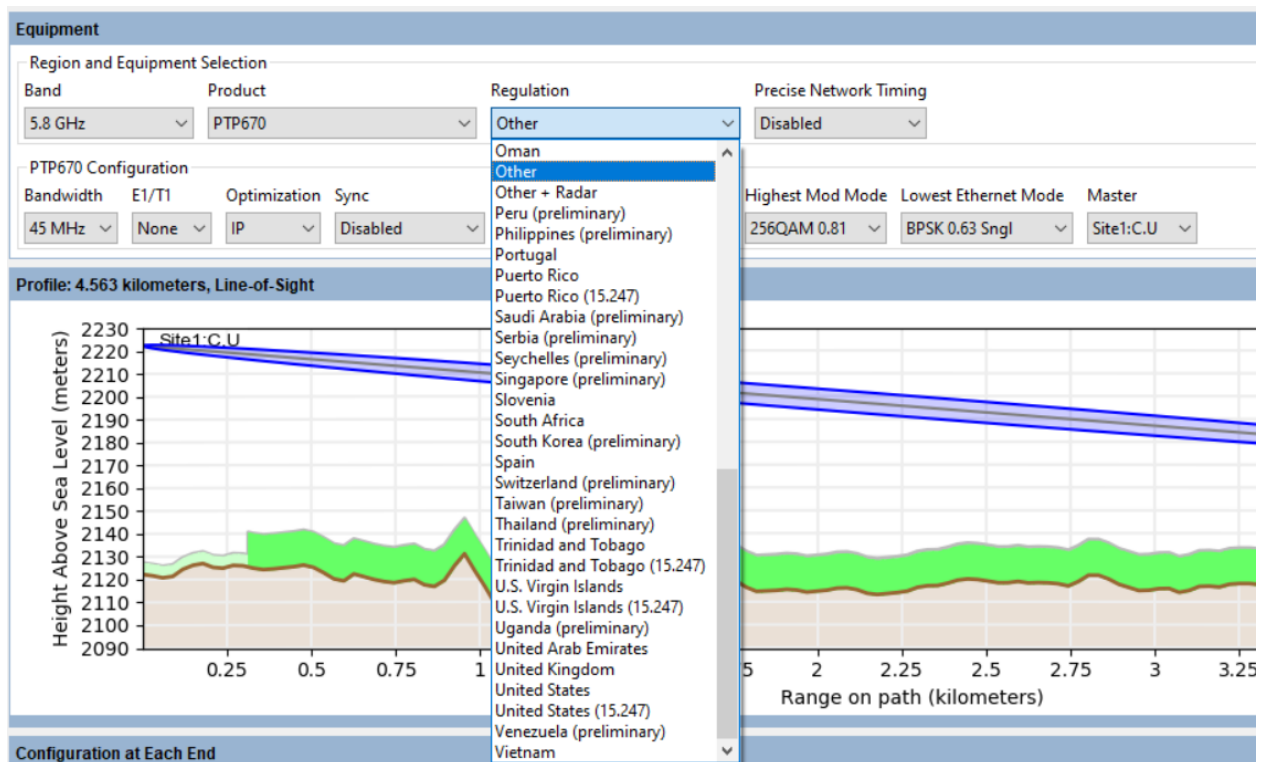


Ilustración 26 Regulaciones disponibles para el proyecto

Como se observa en la ilustración 26 existen muchas regulaciones que LINKPlanner toma en consideración, para este caso de estudio se selecciona la regulación de México. De esta configuración se obtienen los siguientes resultados en la tabla de valores:

Performance Details

ChartsDetails

Common details

Mode:

256QAM

64QAM

64QAM

16QAM

16QAM

256QAM

64QAM

64QAM

16QAM

16QAM

QPSK

QPSK

BPSK

Code Rate:

0.81

0.92

0.75

0.87

0.83

0.81

0.92

0.75

0.87

0.83

0.87

0.83

0.83

Payloads:

Dual

Dual

Dual

Dual

Dual

Single

Single

Single

Single

Single

Single

Single

Single

Max Aggregate IP Throughput (Mbps):

447.93

377.39

308.40

239.93

172.48

223.96

188.69

154.20

119.96

86.24

59.98

43.12

21.56

Performance to Site1:C.U

Max IP Throughput (Mbps):

223.97

188.70

154.20

119.96

86.24

111.96

94.35

77.10

59.98

43.12

29.99

21.56

10.78

Fade Margin (dB):

0.69

5.42

9.55

13.67

17.30

4.35

8.72

12.6

16.74

21.25

24.57

28.59

32.7

Mode Availability (%):

69.4717

99.9787

99.9915

99.9964

99.9982

0.0005

0.0005

0.0005

0.0005

99.9995

99.9997

99.9999

100.0000

Receive Time in Mode (%):

69.4717

30.5070

0.0128

0.0049

0.0018

0.0005

0.0000

0.0000

0.0000

0.0008

0.0003

0.0002

0.0001

Ilustración 27 Valores obtenidos a 5.8MGz

Si busquemos el dato donde el Throghput se cumple con 100Mbps o no tan superior, en la ilustración 27 está marcado en un recuadro azul. El valor más cercano al

100Mbps y se observa que 119Mbps no sobrepasa demasiado, como en el caso de la configuración anterior. Si se continúa buscando la disponibilidad de 99.99% se ve que no coincide con la modulación en la que tenemos los 119Mbps por ende este enlace no es válido hasta este momento y solo para corroborar en un recuadro rojo englobamos todas las opciones de los márgenes de pérdida o ganancia de la señal y descubrimos que ninguna satisface la requerida por el cliente o el proyecto porque se puede decir que hasta este momento de la configuración el enlace no funciona al cumplir los requisitos. Se debe empezar una nueva configuración atendiendo otras variables de configuración.

El ancho de banda es un elemento sumamente importante en el funcionamiento de los radioenlaces, ya que tener un ancho de banda adecuado garantiza una eficiente manera de transmitir datos desde un punto a otro. Si nuestro ancho de banda no es adecuado podríamos causar un efecto “cuello de botella” o “embotellamiento” como comúnmente se conoce a un tráfico o volumen de información transmitida que es superior a la capacidad o capacidad de transmisión de los datos. Por ellos es importante no tener un ancho de banda inferior al que necesitamos, del mismo modo tampoco se recomienda tener un ancho de banda muy superior al que se necesita ya que solo sería potencial desperdiciado.

En la ilustración 22 podemos observar que contamos con un ancho de banda o bandwidth de 45 MHz probaremos ahora con un ancho de banda menor al indicado hasta el momento para observar el comportamiento de nuestro sistema de radioenlace para determinar si modificando el elemento mencionado es suficiente o debemos modificar otros elementos que pudieran ser físicos como el caso de la antena o antenas, así que procedemos con lo indicado:

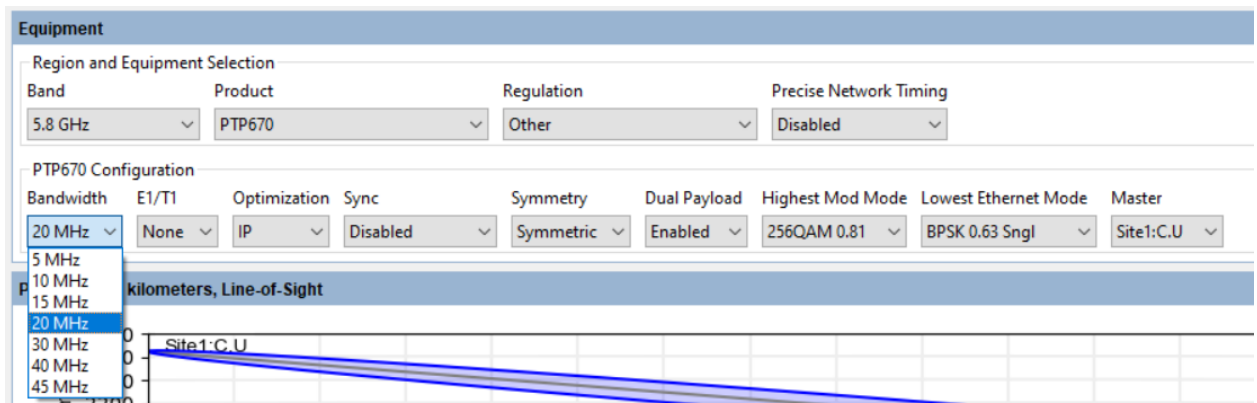


Ilustración 28 Modificación al ancho de banda a 20 MHz

En la ilustración 28 podemos apreciar que el ancho de banda está disponible en bastantes valores de configuración, pero ¿Cuál es el mejor ancho de banda? “Al elegir el ancho de banda del canal para una red, lo único que hay que tener en cuenta es que la velocidad de datos depende de dicho ancho de banda. La velocidad de transferencia será tan alta como el ancho de banda del canal. Normalmente, tenemos tres opciones: 20 MHz, 40 MHz y 80 MHz. Además, los anchos de banda más altos no tienen la misma compatibilidad que los más bajos. Por lo tanto, a veces debemos sacrificar la alta velocidad y optar por el ancho de banda con mejor compatibilidad.” [11]

Es por la explicación anterior que decidimos reducir el ancho de banda de 45 MHz a 20 MHz ya que es uno de los valores de configuración con mayor compatibilidad en casi todos los sistemas de radioenlace.

Así que procedamos a analizar los resultados obtenidos con este nuevo cambio en el valor de nuestro sistema de comunicación por medio de enlaces microondas/radioenlaces, los cuales podemos observar en la tabla que ya hemos observado en las imágenes anteriores y que describe los tres factores que estamos buscando:

Performance Details

ChartsDetails

Common details

Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.87	0.63	0.63
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	198.10	166.91	136.39	106.11	76.28	99.05	83.45	68.20	53.5	38.4	26.53	19.07	9.53

Performance to Site1:C.U

Max IP Throughput (Mbps):	99.05	83.45	68.20	53.05	38.14	49.52	41.73	34.10	26.53	19.07	13.26	9.53	4.77
Fade Margin (dB):	-0.03	-1.30	2.83	6.95	10.58	-2.37	2.00	5.95	10.2	14.3	17.85	21.87	25.98
Mode Availability (%):	0.0000	10.7823	98.2150	99.9849	99.9932	0.0000	0.0005	0.0005	0.005	99.994	99.9988	99.9995	99.9998
Receive Time in Mode (%):	0.0000	10.7823	87.4328	1.7698	0.0083	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0038	0.0014	0.0007	0.0003

Ilustración 29 Valores obtenidos con 20 MHz en ancho de banda y frecuencia 5.8GHz

En la tabla 29 se observa que para este caso obtenemos que los valores para esta configuración cumplen en una modulación de 16QAM solo dos de los tres valores deseados ya que el valor del margen (Fade Margin) está entre 10-15db y la disponibilidad cumple con al menos el 99.99% que es lo requerido para el proyecto pero el valor del Throughput aun no cumple con un valor de 100 que es el requerido de hecho es apenas mayor a la tercera parte en este caso y lo podemos observar dentro del recuadro rojo.

Así que pareciera que el problema no se ha resuelto, ¿qué más podríamos hacer? Quizá pareciera que sería mejor evaluar unos nuevos requerimientos para el proyecto, pero aún tenemos muchas cosas por evaluar y modificar en este presente proyecto, una de ellas fue previamente mencionada, procedamos a modificar elementos físicos, en este caso vamos a cambiar la antena para observar el comportamiento de nuestro sistema de radioenlace y validar si este cambio a su vez soluciona nuestro problema o debemos tomar un camino diferente.

Esta modificación puede hacer desde la misma sección donde elegimos el tipo de frecuencia y ancho de canal del radioenlace o también podemos elegir las antenas a colocar desde una lista desplegable en la sección “configuration at Each End” es decir “configuración de cada punta o extremo” en este caso se refiere a el equipo que estará instalado en cada punto o sitio de nuestro sistema de comunicación inalámbrica.

Configuration at Each End	
Site1:C.U Cambium Networks High Gain Integrated (23.0dBi) Antenna Height: 100.0 meters (Max height at site is 30.0 m) Positioner: ☐	Site2:CCU Cambium Networks High Gain Integrated (23.0dBi) Antenna Height: 55.0 meters (Max height at site is 10.0 m) Positioner: ☐

Ilustración 30 Antena por defecto en cada sitio

En la ilustración 30 se observa que por defecto en cada sitio LINKPlanner nos indica que podemos utilizar una antena de ganancia integrada de 23.0dBi más no nos limita a trabajar con dicha antena, podemos cambiar la antena en cada punto, normalmente se trabaja con el mismo tipo o modelo de antena en cada uno de los sitios para evitar que no haya compatibilidad de antenas o cause interferencia entre el envío-recepción de datos. Por lo cual desplegaremos la lista y elegiremos una antena que consideremos adecuada para el proyecto o podemos intentar valorar cada una de las antenas disponibles y ver cuál es la que más se adapta a nuestro proyecto.

Configuration at Each End																																																																							
Site1:C.U Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4508C (29.1dBi)	Site2:CCU Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4508C (29.1dBi)																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pol.</th> <th>Manufacturer</th> <th>S...</th> <th>Description</th> <th>Products</th> <th>Part</th> <th>Direct</th> <th>Compliance</th> <th>Gain</th> <th>Height at site is 10.0 m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Other...</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Cambium Networks</td> <td></td> <td>High Gain Integrated</td> <td>PTP-450i, PTP-670, PTP-550</td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td>23.0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Cambium Networks</td> <td>2ft</td> <td>High Performance Dual-Polar Parabolic</td> <td></td> <td>RDH4508C</td> <td></td> <td></td> <td>29.1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td>Cambium Networks</td> <td>2ft</td> <td>Parabolic</td> <td></td> <td>N050067D017</td> <td></td> <td></td> <td>29.4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Cambium Networks</td> <td>2ft</td> <td>Dual-Polar Parabolic</td> <td></td> <td>RDH4503C</td> <td></td> <td></td> <td>29.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td>Cambium Networks</td> <td>3ft</td> <td>Parabolic</td> <td></td> <td>RDH4513</td> <td></td> <td></td> <td>31.9</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Pol.	Manufacturer	S...	Description	Products	Part	Direct	Compliance	Gain	Height at site is 10.0 m				Other...							D	Cambium Networks		High Gain Integrated	PTP-450i, PTP-670, PTP-550		✓		23.0		D	Cambium Networks	2ft	High Performance Dual-Polar Parabolic		RDH4508C			29.1		S	Cambium Networks	2ft	Parabolic		N050067D017			29.4		D	Cambium Networks	2ft	Dual-Polar Parabolic		RDH4503C			29.5		S	Cambium Networks	3ft	Parabolic		RDH4513			31.9	
Pol.	Manufacturer	S...	Description	Products	Part	Direct	Compliance	Gain	Height at site is 10.0 m																																																														
			Other...																																																																				
D	Cambium Networks		High Gain Integrated	PTP-450i, PTP-670, PTP-550		✓		23.0																																																															
D	Cambium Networks	2ft	High Performance Dual-Polar Parabolic		RDH4508C			29.1																																																															
S	Cambium Networks	2ft	Parabolic		N050067D017			29.4																																																															
D	Cambium Networks	2ft	Dual-Polar Parabolic		RDH4503C			29.5																																																															
S	Cambium Networks	3ft	Parabolic		RDH4513			31.9																																																															

Ilustración 31 Modificación en la antena.

En la ilustración 31 se observa algunas de las antenas disponibles para este sistema de comunicación radioenlace, se decidió utilizar una antena de 2pies o 2ft ya que para este proyecto no estaban disponibles las antenas de 1ft y la razón por la cual hemos optado por utilizar este tipo de componentes es porque el radioenlace es muy pequeño en cuanto a distancia se trata llegando apenas a pasar los 4.5 km lo cual no representa una distancia muy significativa para utilizar elementos de mayores dimensiones. Una vez elegido el nuevo componente, ahora procederemos a verificar los parámetros obtenidos en la tabla que anteriormente ya consultamos para saber si nuestro sistema radioenlace ya es apto para entrar en función o

debemos seguir modificando hasta obtener los requerimientos deseados por el cliente.

Performance Details

ChartsDetails

Common details

Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.81	0.92	0.75	0.87	0.83	0.87	0.83	0.83
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	198.10	188.1	135.8	106.1	76.28	99.05	83.45	68.20	53.05	38.14	26.53	19.07	9.53

Performance to Site1:C.U

Max IP Throughput (Mbps):	99.05	83.45	68.20	53.05	38.14	49.52	41.73	34.10	26.53	19.07	13.26	9.53	4.77
Fade Margin (dB):	4.21	8.4	13.7	17.9	20.82	7.87	12.24	16.19	20.26	24.77	28.09	32.11	36.22
Mode Availability (%):	99.8826	99.993	99.993	99.992	99.9989	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	99.9998	99.9999	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.8826	0.1277	0.0057	0.0022	0.0008	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0001	0.0001	0.0000

Ilustración 32

En la ilustración 32 se observa que tentativamente parecieran existir dos opciones las cuales cumplen con las tres características de las cuales estamos en búsqueda pero si observamos más detenidamente podemos apreciar que la opción que esta señalada mediante los recuadros rojos tiene una condición que no se está cumpliendo y esta es que el margen o “Fade Margin” no se está cumpliendo, si recordamos las tres características elementales que requiere nuestro sistema de comunicación radioenlace son:

Throughput = 100 Mbps

Margen = 10 - 15 db (que refiere a la ganancia o pérdida de la señal)

Disponibilidad 99.99%

Por lo cual podemos observar en el recuadro rojo que indica el dato del **margen** en este caso esta opción no es viable ya que sobre pasa de los 15 db llegando hasta los 17.19db por lo cual ese enlace o propuesta de enlace no es apto para ser instalado por no cumplir con las especificaciones del cliente.

Ahora se muestra nuevamente la tabla esta vez mas simplificada para poder apreciar los datos de la propuesta o enlace que como pudimos ver ya obtuvimos y que es apto:

Performance Details			
Charts Details			
Common details			
Mode:	64QAM	16QAM	16QAM
Code Rate:	0.75	0.87	0.63
Payloads:	Dual	Dual	Dual
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	136.39	106.11	76.28
Performance to Site1:C.U			
Max IP Throughput (Mbps):	68.20	53.05	38.14
Fade Margin (dB):	13.07	17.19	20.82
Mode Availability (%):	99.9960	99.9982	99.9989
Receive Time in Mode (%):	99.9960	0.0022	0.0008
Performance to Site2:CCU			
Max IP Throughput (Mbps):	68.20	53.05	38.14
Fade Margin (dB):	13.07	17.19	20.82
Mode Availability (%):	99.9960	99.9982	99.9989
Receive Time in Mode (%):	99.9960	0.0022	0.0008

Ilustración 33 Modelo apto para instalación

En la ilustracion 33 se observa que, después de hacer cambios en la frecuencia, ancho de banda y componentes físicos como lo fue la antena en nuestro proyecto de radioenlace hemos llegado al fin a un modelo que reúna las características imprescindibles que el “cliente” o el proyecto mismo requiere la cual describiremos en la tabla siguiente.

Dato	Propuesto	Obtenido
Throughput (mbps)	100 mbps	136.39 mbps
Margen (Fade Margin)	10-15 db	13.07 db
Disponibilidad	99.99%	99.996%

Tabla 2 Datos Propuestos vs Datos Obtenidos

De la Tabla 2 podemos rescatar que:

- 1) Se tiene 36.39 Mbps más de lo requerido lo cual no representa un número muy superior al que buscábamos inicialmente como si lo representaba el dato obtenido en la ilustración 20.
- 2) El margen obtenido es igual a 13.07 db lo cual entra en el que estaba propuesto que era entre 10 y 15 db, por lo cual funciona.
- 3) Se tenía un propuesto de 99.99% y se obtuvo: 99.996%.

Por lo cual podemos concluir que nuestro radioenlace propuesto hasta este momento funciona y es apto para llevar al plano físico si fuera una aplicación real.

Bill of Materials for Link			
New Extra Delete Extra View in Spreadsheet Power from switch: Site1:C.U			
y			
P/N	Description	Qty	Notes
01010419001	Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable	14	
AR-E4PT6XX-WW	PTP 670 All Risks Advance Replacement, 4 additional years (per END)	2	
C000065L007	LPU and Grounding Kit (1 kit per ODU)	2	
C050067B006	PTP 670 (4.9 to 6.05 GHz) Connectorized ODU (ROW)	1	
C050067H014	PTP 670 Connectorized END with AC+DC Enhanced Supply (ROW - EU Line Cord)	1	Kit includes ODU, power supply, mounting bracket and EU line cord
N000045L002	Tilt Bracket Assembly	1	
RDH4508C	High Performance 4.9-6 GHz, 2-FT (0.6M), DUAL-POL antenna with 2 x N-type Connector	2	
WB3175	1000 ft Reel Outdoor Copper Clad CAT5E (Recommended for PTP)	1	

Ilustración 34 Tabla de materiales a utilizar.

En la ilustración 34 podemos observar que tenemos una tabla del material que debemos utilizar para este proyecto.

Como se mencionó en la descripción de los softwares de simulación una de las ventajas o la ventaja principal del software de simulación LINKPlanner es que después de que se configuraron los valores oportunos y que se validaron, el sistema planteado puede ser funcional en la práctica, se tiene la posibilidad de descargar el reporte de propuesta para la instalación, propuesto por el mismo software. Reporte que será anexado posteriormente para su posible análisis.

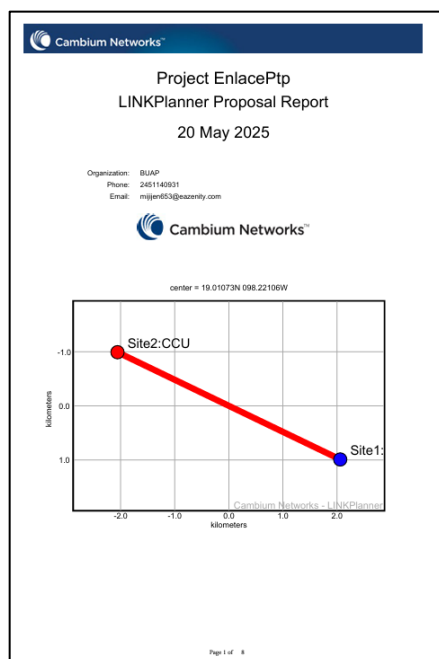


Ilustración 35 Portada del reporte de propuesta

En la ilustración 35 podemos observar la portada del reporte que genera LINKPlanner al generar un proyecto mediante dicho software.

CAPÍTULO 4

DISEÑO, DESARROLLO Y VALIDACIÓN DEL ENLACE P2P

4.1 Propuesta general

Para analizar y simular el radioenlace que requerimos para nuestro proyecto; se definieron tres criterios fundamentales en los cuales nos basamos para validar el desempeño del enlace p2p los cuales volveremos a mencionar a continuación:

Throughput = 100 Mbps

Margen = 10 - 15 db (que refiere a la ganancia o pérdida de la señal)

Disponibilidad 99.99%

Así como también se definieron los puntos geográficos donde estarán instalados nuestros dos sites A y B y se calculó la distancia que existe entre los mismos, se verificó la existencia de componentes cruciales como lo es la línea de vista LOS para el proyecto.

Determinar las características con las que debe cumplir un radioenlace es crucial ya que es lo que nos permitirá dar el primer paso en el desarrollo, simulación y análisis de este mismo, ya que sin estos datos no tenemos nada que nos indique con que trabajar o como debe trabajar el sistema deseado. Una vez obtenidos los datos principales o las características primarias del sistema de comunicación radioenlace, entonces podemos realizar pruebas para llegar a un escenario de posible solución. Es por ello que son tan importantes los softwares de simulación ya que por su naturaleza nos permiten hacer cambios que son complejos cuando los llevamos a un plano físico.

4.2 Validación técnica de radioenlaces

En este apartado se establecen algunos puntos a tomar en cuenta para la validación técnica de un radioenlace.

Tomando como referencia la metodología que fue aplicada en los capítulos anteriores, para proceder a validar si un sistema de radioenlace en este caso punto a punto o "P2P", se debe primeramente pensar y definir los puntos geográficos donde se requiere que el radioenlace brinde de servicio de telefonía móvil, no

obstante sabemos que se puede hacer un proceso similar para dotar de un servicio diferente también, como lo es el servicio de internet, pero en este caso en particular nos referiremos a un servicio de telefonía móvil. Entonces una vez obtenidos y ubicados los dos puntos o coordenadas geográficas con su respectiva distancia entre ambos.

Inicialmente debemos asegurar que exista Línea de Vista LOS para poder comenzar con las demás configuraciones pertinentes para lograr que el radioenlace sea funcionalmente viable; es decir, que no solo funcione, sino que cumpla satisfactoriamente con los valores que se han determinado para el enlace en cuestión (Throughput, Margen y disponibilidad) o los que el cliente o usuario final del proyecto determine. Preferentemente debemos buscar que la Línea de Vista sea total y no parcial, para ello debemos:

- Configurar alturas de torre pertinente en ambos puntos o sitios.
- Considerar posibles interferencias (árboles, señaléticas, otras torres, etc.)
- Preferentemente hacer una visita al terreno por donde pasara nuestro radioenlace, esto para asegurarnos que realmente funcionara y no tendremos interferencias que no tomamos en cuenta desde LINKPLanner.

Ahora bien, una vez que se asegura que hay línea de vista sin interferencias, se pueden verificar los valores sugeridos por el software y verificar si se cumplen los criterios establecidos por el cliente; de ser así, entonces el proyecto se ha terminado, de no ser así, entonces se pueden ajustar los valores de frecuencia, ancho de banda, modulación, regulación, etc. según corresponda o según se necesite.

Se recomienda ir validando los resultados obtenidos después de cada cambio realizado, esto con la finalidad de buscar el enlace viable que resulte con la menos cantidad de modificaciones posibles, aunque esta no es una regla en el sentido estricto de la construcción de sistemas radioenlaces; pero es una buena práctica ya que se observa el comportamiento de los mismos y de algún modo determinar que componente afecta más o menos el sistema evaluado.

Para enlaces de distancias pequeñas se aconseja lo siguiente:

- ♦ Hacer pruebas con antenas de ganancia integrada.

- ◆ Utilizar antenas de 2ft o menores ya que antenas más grandes representan un desperdicio de potencial.
- ◆ Tomar en cuenta componentes que no estén discontinuados u obsoletos ya que debemos considerar que para los enlaces P2P todos los materiales que utilizaremos en un sitio será requerida el doble de su cantidad.

Estas recomendaciones en general se deben considerar para la simulación de sistemas radioenlaces ya que nos facilitaran varias tareas como:

- Instalación de cada componente de manera física.
- Escalar muchas veces la altura de cada torre en la que será colocado cada equipo radiante y demás componentes.
- Evitar estropeos en materiales, herramientas y componentes del sistema radioenlace que se pretenda instalar.
- Evaluar componentes de manera virtual y no física evitando así la adquisición de materiales innecesarios o que serán desaprovechados en el proyecto, lo cual se traduce en costos significativos.

CONCLUSIONES

Como es bien sabido las tecnologías no solo en México sino en el mundo entero no paran de crecer y de generar tendencia. Los sistemas de radioenlace no solo sirven para proyectos pequeños son muy útiles para el intercambio de información en distancias considerablemente largas sin la necesidad de utilizar cables para la interconexión. Difícilmente será una tecnología reemplazable a corto y mediano plazo y posiblemente ni a largo plazo.

En el desarrollo del proyecto se tuvo como principal objetivo la simulación de un sistema de comunicación radioenlace en su modalidad punto a punto “P2P” haciendo uso de la herramienta LINKPlanner el cual hace uso de variadas metodologías y modelos como el modelo de propagación de ondas electromagnéticas y demás configuraciones empíricas para lograr un modelo lo más realista posible. Como se hizo mención en el desarrollo del proyecto, el uso de las tecnologías y sistemas de simulación de proyectos de la magnitud de un radioenlace favorece a la persona o empresa interesada en la puesta en marcha de este tipo de sistema de comunicación ya que representa una opción viable y cómoda mediante la cual se puede observar el comportamiento del radioenlace y determinar si es el esperado y en su caso hacer las adecuaciones pertinentes sin la necesidad de ganar importantes sumas de dinero.

Podría interpretarse que LINKPlanner solo es utilizable en proyectos de mediana y grande escala, pero nada más lejano de la realidad pues LINKPlanner puede ser utilizado para simular enlaces más pequeños por ejemplo para hacer un enlace de internet en una distancia menor a un kilómetro, incluso una distancia menor. Del mismo modo puede emplearse para interconectar instituciones educativas, de salud y de otros ámbitos.

Es importante concientizar a la sociedad sobre la importancia de las tecnologías de comunicación radioenlace ya que, aunque son una forma muy eficiente de transmitir información a grandes distancias; existen muchos mitos alrededor del funcionamiento de dichos sistemas de comunicación inalámbrica. Se debe informar a la población que el acceso a los servicios móviles mediante este tipo de enlaces

es lo que nos ha facilitado en gran medida la cercanía virtual con nuestros seres queridos, así como con cualquier persona que tenga acceso a la cobertura del servicio móvil, mediante el uso de llamadas telefónicas, mensajes de texto o incluso videollamadas. Del mismo modo un punto importante para el seguimiento de las telecomunicaciones que no solo es un tema que refiere a un negocio, sino que al menos en México es un derecho constitucional estipulado en el artículo 6° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. El cual establece que el estado debe garantizar el libre acceso a las tecnologías de la información y comunicación, así como a los servicios de radiodifusión y **telecomunicaciones**, incluido el servicio de banda ancha de internet. [12]

Por último, es importante recalcar que al modelar cualquier proyecto de comunicación radioenlace con LINKPlanner hay que validar cada una de las especificaciones, requerimientos o necesidades de nuestro cliente o institución para poder hacer configuraciones y adecuaciones pertinentes antes de lanzar el proyecto de manera física para que así evitemos gastos innecesarios que puedan derivar en un mal funcionamiento del proyecto puesto que esto afectaría directamente tanto a los clientes como a los usuarios finales. Además de recordar que el mercado de las telecomunicaciones es amplio y una vez que se inicia un proyecto o un enlace y ya está en funcionamiento es muy difícil dar de baja dicho servicio sin que afecte a los usuarios del mismo, es por ello que la planificación, modelado, simulación y validación es fundamental y clave para el correcto desarrollo y traslado para la instalación de forma física en los espacios geográficos y que del mismo modo la buena planeación se vea reflejada en el tiempo de instalación y puesta en marcha del sistema radioenlace por parte del equipo técnico de instalación, ya que al no contar o contar con mínimos inconvenientes puesto que el proyecto ya ha sido previamente analizado y simulado, los técnicos instaladores deben reflejar todo ese análisis en tiempo de ejecución y de instalación del proyecto.

Se puede resumir los radioenlaces como una forma eficiente y eficaz de comunicación de manera inalámbrica que funciona a grandes distancias y sirve para intercomunicar a los usuarios de los servicios móviles para facilitar, son papel en la sociedad actual es imprescindible para la comunicación a nivel global y hay que estar informados como sociedad sobre los beneficios que representa un sistema de

comunicación radioenlace. Como profesionales o apasionados por el área de las telecomunicaciones debemos saber y tener en conocimiento as ventajas que ofrecen as tecnologías para el desarrollo y en este caso simulación proyectos importantes como lo es un radioenlace.

TRABAJO FUTURO

Con la creciente necesidad de conexión o de área de cobertura el proyecto puede expandirse generando una mayor transmisión de información, se sabe que los enlaces del tipo punto a punto o P2P no son el único tipo de enlace que existe en el área de las telecomunicaciones por ejemplo también existen los enlaces punto a multipunto. Estos dos son los más comunes ya que además de estos existen también los radioenlaces satelitales.

Aunque existen más tipos de radioenlace que no son como en este caso del tipo Punto a Punto o P2P se recomienda que como siguiente paso en el supuesto de que un proyecto como el planteado en este presente trabajo de tesis se lleve al plano físico, entonces se contemple ampliar el proyecto a enlace del tipo Punto a Multi Punto o PtMP para así poder ampliar el área de servicio inclusive se podrían contemplar ubicaciones que sean parte de las instalaciones pertenecientes a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla "BUAP" como lo pueden ser prepas, facultades que se encuentren fuera de Ciudad Universitaria, etc.

Debiendo hacer los análisis correspondientes, incluso podría cambiarse el tipo de servicio a transmitir y convertirlo a un enlace que transmita servicio de internet y quizá ese internet sea propio de la institución y de este modo interconectar a las facultades, y edificios de la BUAP reduciendo la necesidad de conexiones cableadas.

ANEXO 1

REPORTE DE PROPUESTA GENERADO POR LINKPLANNER

A continuación se describen los apartados del reporte generado por Linkplanner para el proyecto desarrollado.



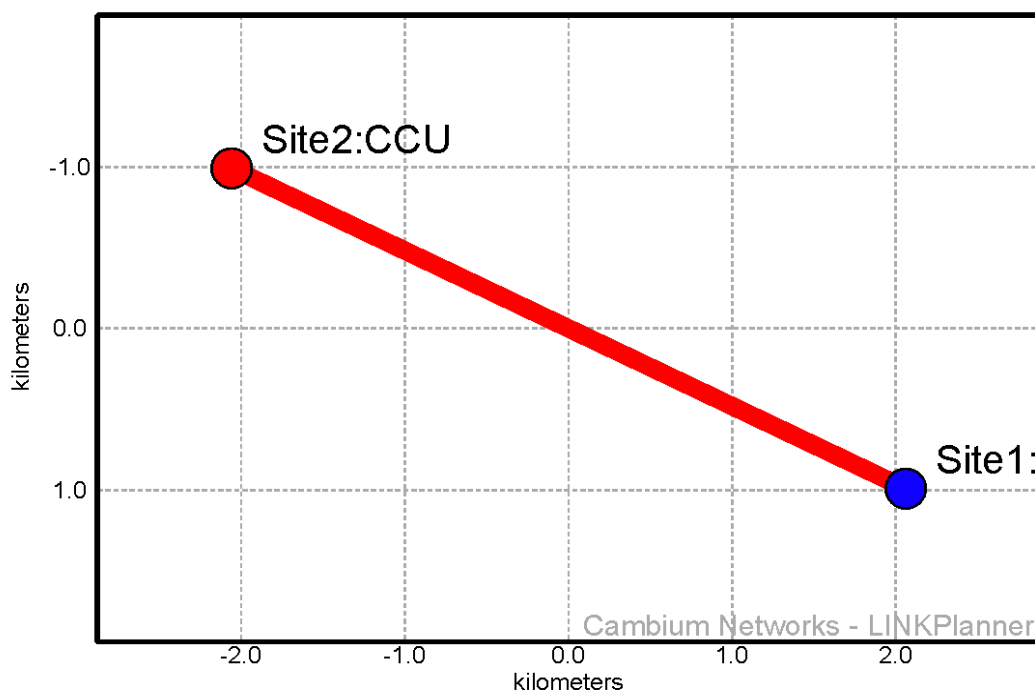
Cambium Networks™

Project EnlacePtp LINKPlanner Proposal Report

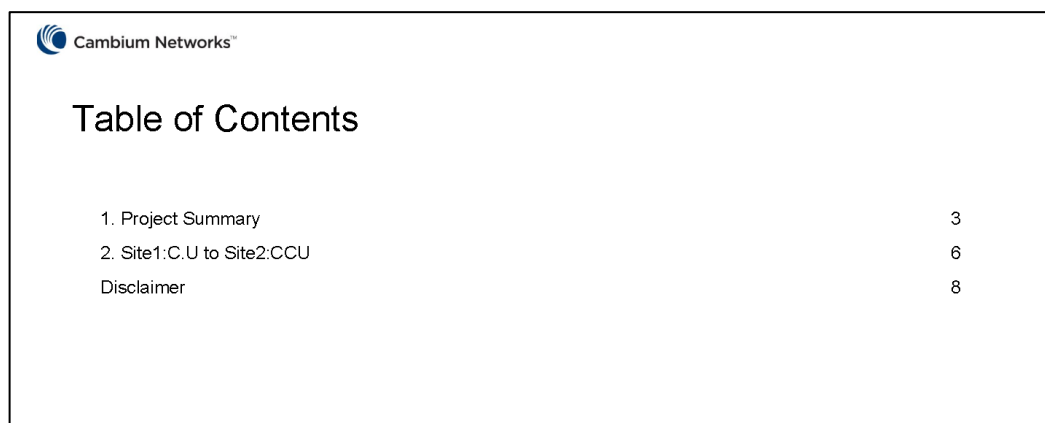


Cambium Networks™

center = 19.01073N 098.22106W



Después de la portada del reporte generado por LINKPlanner, en la ilustración 37 se observa la tabla de contenido o índice el cual describe la organización del contenido del reporte.



Cambium Networks®	
Table of Contents	
1. Project Summary	3
2. Site1:C.U to Site2:CCU	6
Disclaimer	8

Ilustración 37 Tabla de contenido/índice del reporte

Seguido del índice se puede observar el “Project summary” o resumen de proyecto en la ilustración 38, el cual indica el nombre del cliente en este caso se indica el nombre de la persona o la empresa a la cual se le brindara el servicio y también se asigna el nombre completo de dicha empresa. Adicionalmente se puede agregar una dirección, número telefónico, numero celular y un correo electrónico. En otras palabras, son los medios de contacto y los datos generales del cliente.

1. Project Summary

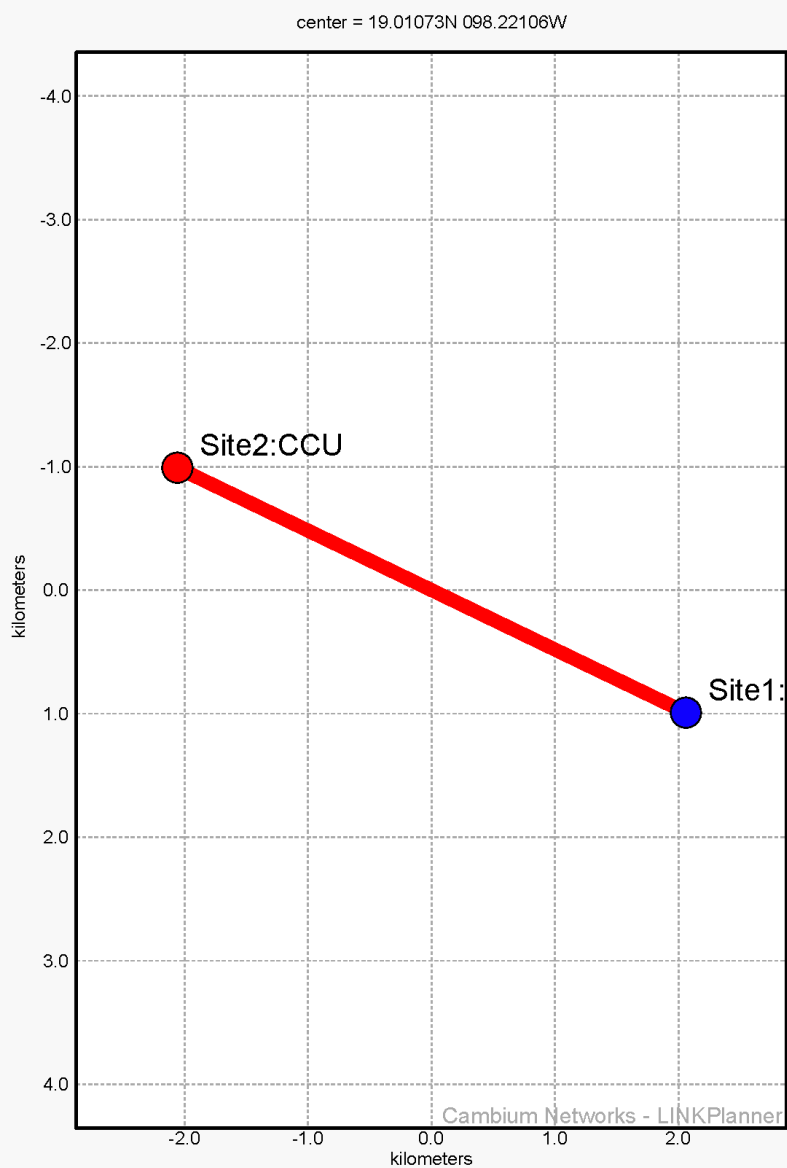
Project: EnlacePtp

General Information	
Customer Name	B.U.A.P
Company Name	Benémerita Universidad Autónoma de Puebla
Address	
Phone	
Cell Phone	
Email	

Ilustración 38 Project Summary

En la ilustración 39 se muestra una representación de la distancia a la que se encuentran separados ambas terminales del sistema radioenlace. Es decir, es una representación cartográfica del radioenlace.

Network Map

*Ilustración 39 Mapa de la red.*

La ilustración 40 muestra el ticket o resumen de los materiales que son necesarios para la instalación y puesta en marcha del enlace P2P por lo cual es importante tomarlo en cuenta ya que describe el nombre o modelo del producto a utilizar, la cantidad y la descripción de las características del mismo producto correspondiente.

		Project EnlacePtp - 1. Project Summary		
Link name	Product	Local antenna	Remote antenna	Max aggregate IP throughput
Site1:C.U to Site2:CCU	PTP670	Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4508C	Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4508C	136.39 Mbps

Bill of Materials : PTP Network		
Part Number	Qty	Description
01010419001	14	Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable
AR-E4PT6XX-VW	2	PTP 670 All Risks Advance Replacement, 4 additional years (per END)
C000065L007	2	LPU and Grounding Kit (1 kit per ODU)
C050067B006	1	PTP 670 (4.9 to 6.05 GHz) Connectorized ODU (ROW)
C050067H014	1	PTP 670 Connectorized END with AC+DC Enhanced Supply (ROW - EU Line Cord). Kit includes ODU, power supply, mounting bracket and EU line cord
N000045L002	1	Tilt Bracket Assembly
RDH4508C	2	High Performance 4.9-6 GHz, 2-FT (0.6M), DUAL-POL antenna with 2 x N-type Connector
WB3175	1	1000 ft Reel Outdoor Copper Clad CAT5E (Recommended for PTP)

Bill of Materials : Switch Network		
Part Number	Qty	Description
CCADV-UPG-TX2020R-P-5	1	Cambium Care Advanced Add-on to cnMaestro X, 5-year support for one TX2020R-P. 24x7 TAC support, SW updates, and NBDS advance replacement for HW
MSX-SUB-TX2020R-P15	1	cnMaestro X 5-year subscription for one TX2020R-P. Creates one Device Tier20 slot. Includes Cambium Care Pro support. Order CCADV-UPG-TX2020R-P-5 for NBD advanced replacement hardware support.
MXCRPSDC600A0	1	CRPS - DC - 600W total Power, 36v-72v, includes 3m cable connector
MXTX2020GxPA10	1	cnMatrix TX 2020R-P, Intelligent Ethernet PoE Switch, Cambium Sync, 16 x 1gbps and 4 SFP+, Removeable & Redundant Power Supplies (not included) - no pwr cord
N000900L030	1	ePMP External GPS Antenna
SFP-10G-Copper	1	10G Base-T (RJ45) SFP Transceiver. 0C to 70C
SFP-10G-LR	1	10G SFP+ SMF LR Transceiver, 1310nm. -40C to 85C
SFP-1G-Copper	1	1000Base-T (RJ45) SFP Transceiver. -40C to 85C
SFP-1G-LX	1	1G SFP SMF LX Transceiver, 1310nm. -40C to 85C

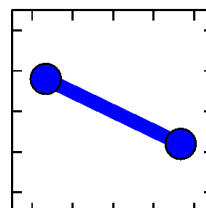
Ilustración 40 Ticket de materiales

Por ejemplo, tenemos el cable coaxial a utilizar y la cantidad en piezas del mismo, el modelo de antena que se utilizable para el proyecto, etc

Se observa en la ilustración 41 que de primera instancia de manera gráfica podemos observar la línea de vista disponible para nuestro enlace, así como las características del suelo en su trayecto y protuberancias que se añadieron para efectos prácticos. Además, en las tablas contenidas en la misma ilustración podemos obtener una descripción general de las características con las que el radioenlace cumple como, por ejemplo: el ancho de banda, la distancia entre las antenas, el margen de ganancia, etc.



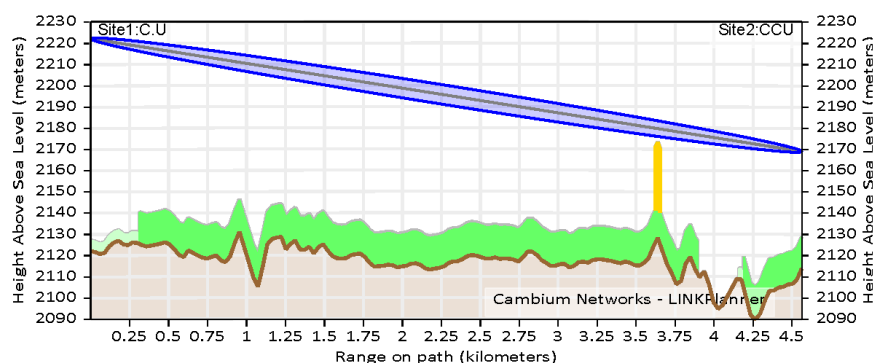
Site1:C.U to Site2:CCU



Equipment: Cambium Networks PTP670 Connectorized

Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar
Parabolic RDH4508C @ 100 m

Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar
Parabolic RDH4508C @ 55 m



	Performance to Site1:C.U	Performance to Site2:CCU
Mean IP	68.20 Mbps	68.20 Mbps
IP Availability	0.0000 % for 100.0 Mbps	0.0000 % for 100.0 Mbps

Link Summary			
Link Length	4.563 km	System Gain	157.15 dB
Band	5.8 GHz	System Gain Margin	36.22 dB
Regulation	Other	Mean Aggregate Data Rate	136.39 Mbps
Modulation	Adaptive	Annual Link Availability	100.0000 %
Bandwidth	20 MHz	Annual Link Unavailability	5 secs/year
Total Path Loss	120.93 dB	Prediction Model	VB with ITU rain P.530-12

Ilustración 41 línea de vista y descripción general del proyecto

La ilustración 42 muestra principalmente las tablas de rendimiento de ambos extremos de nuestro radioenlace que describe la relación que existe entre la disponibilidad y la capacidad del enlace a lo largo de un año de trabajo continuo.

Además, vuelve a mostrar el ticket de materiales requeridos, esta vez por cada extremo del enlace.

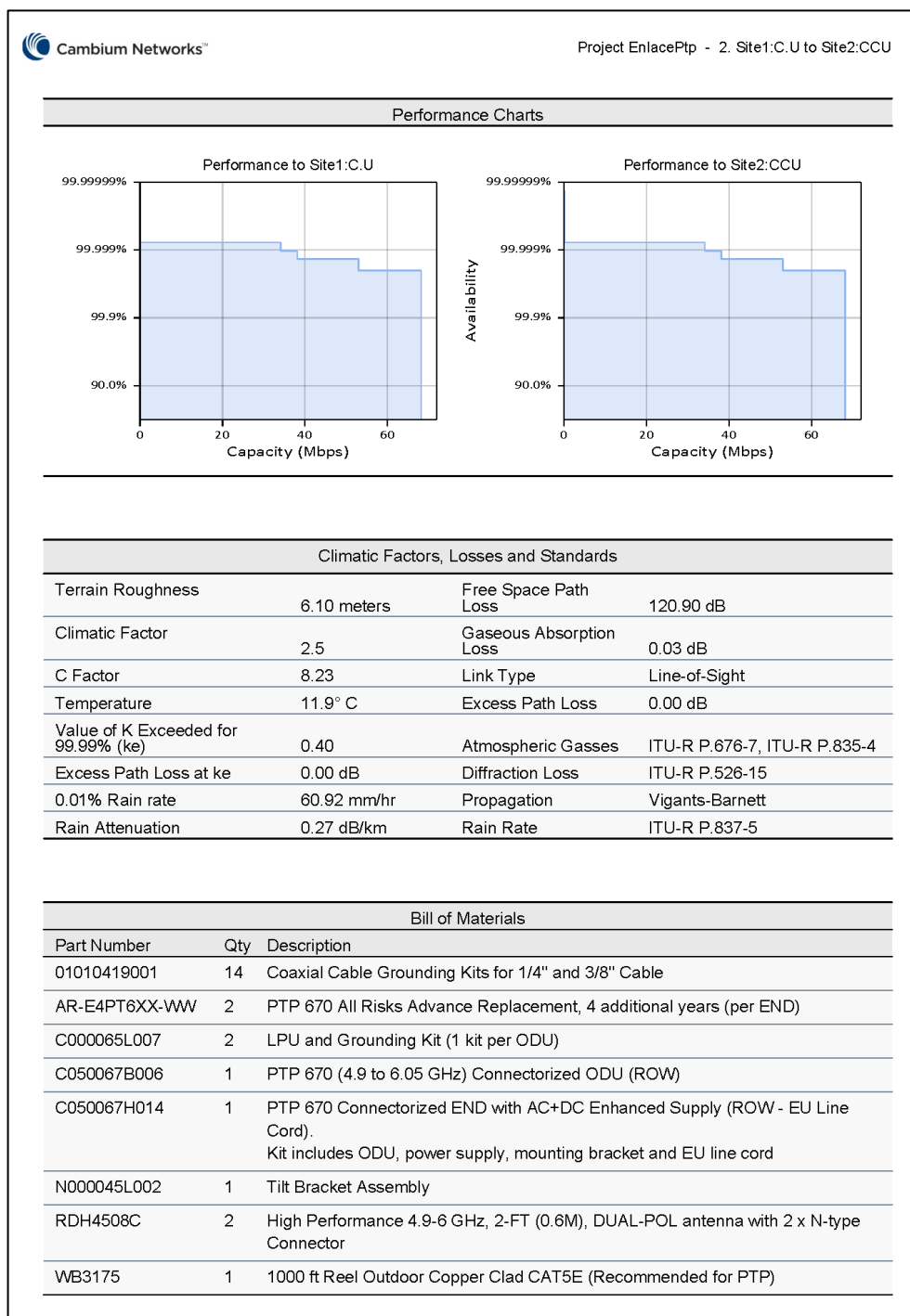


Ilustración 42 Tabla de rendimiento

Por último, LINKPlanner como podemos observar en la ilustración 43 genera un aviso legal en el cual nos dice que hacer un mal uso de la información generada por Cambium LINKPlanner no es responsabilidad de la misma y que se deslinda de cualquier problema que se pueda ocasionar

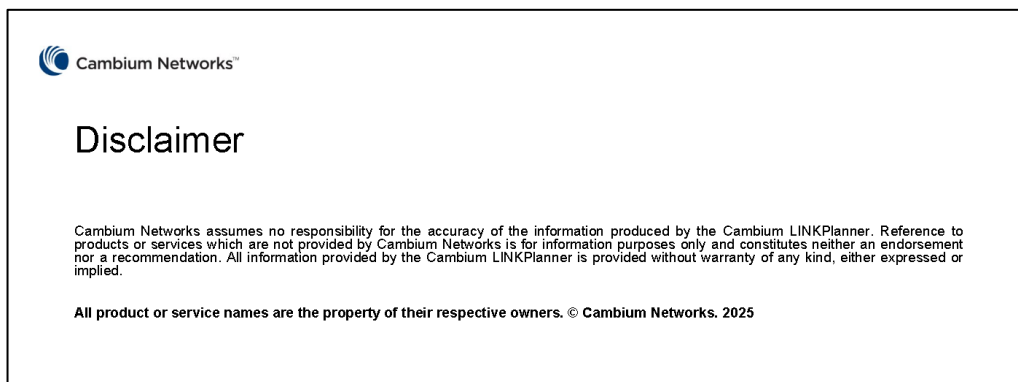


Ilustración 43 "Disclaimer" (Aviso legal)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sistelec. (2023, noviembre 13). <https://sistelec.es/blog/radioenlaces/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20radioenlace%3F,en%20diversas%20industrias%20y%20aplicaciones>. Radioenlaces.
- [2] Emisión de Televisión. (n.d.). Consultado Junio 15, 2024, Recuperado de <https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/29/29328/apuntesderadioenlaces.pdf>
- [3] González Garazi. (n.d.). Diseño de un sistema de radioenlace para comunicaciones en el ámbito industrial. <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/81906/6/ggonzalezmeneTFG0618memoria.pdf>
- [4] María López. (2013, August 1). Telefonía celular, desde sus inicios hasta la actualidad. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/40479>
- [5] CISCO. (n.d.). ¿Qué es 5G? Consultado Junio 15, 2024, recuperado de https://www.cisco.com/c/es_mx/solutions/what-is-5g.html
- [6] AWS. (2023). ¿Qué es el 5G? Amazon Web Services . <https://aws.amazon.com/es/what-is/5g/#:~:text=La%205G%20puede%20operar%20tanto,recibir%20datos%20en%20cualquier%20momento>
- [7] Cristina Albarrán. (2024, January 4). Qué es y cómo funciona 5G. REDES & TELECOM. <https://www.redestelecom.es/especiales/que-es-5g-y-como-esta-revolucionando-el-futuro-de-las-redes/>
- [8] Radio Mobile - RF propagation simulation software. (2023, October 29). <http://radiomobile.pe1mew.nl/>
- [9] Aptica. (2024). XIRIO online. <https://www.xirio-online.com/web/home/welcome.aspx>
- [10] Cambium Networks. (n.d.). CONNECTIVITY THAT JUST WORKS. 2024. Consultado Junio 15, 2024, recuperado de <https://www.cambiumnetworks.com/>
- [11] MUHAMMAD SHOAIB. (2021, April 17). Cuándo y cómo usar 20 MHz frente a 40 MHz frente a 80 MHz. <https://www.quickstart.com/blog/cisco/when-to-use-20mhz-vs-40mhz-vs-80mhz/>.
- [12] Diario Oficial de la Federación. (2013). DECRETO por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de los artículos 6o., 7o., 27, 28, 73, 78, 94 y 105 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de telecomunicaciones. Diario Oficial de La Federación, p.1.

- [13] Sistema de Radioenlace Consultado en: https://videovigilancia-digital.blogspot.com/2010/10/que-es-un-radioenlace.html#google_vignette
- [14] Ejemplo de un enlace satelital Consultado en: <https://tecno-isabelmartinezbuendia.blogspot.com/2015/04/comunicacion-inalambrica-ii.html>
- [15] Zona de fresnel y vanos. Consultado en: <https://www.interline.pl/Information-and-Tips/FRESNEL-ZONE-LOSS>
- [16] Ejemplo de Radioenlace de alta capacidad. Consultado en: <https://micm.es/noticias/radioenlaces-microondas-alta-capacidad/>
- [17] Ejemplo de Near Line of Sight. Consultado en: <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/81906/6/ggonzalezmeneTFG0618memoria>
- [18] Ejemplo de Near Line of Sight. Consultado en: <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/81906/6/ggonzalezmeneTFG0618memoria>
- [19] Ejemplo de diagrama de radiación Consultado en <http://antenas13.blogspot.com/p/parametros-generales-de-una-antena.html>
- [20] Ejemplos de tipo de polarización de antenas consultado en: <https://www.logicbus.com.mx/blog/cuales-son-los-diferentes-tipos-de-polarizacion-en-antenas-de-radiofrecuencia-y-cual-es-la-mejor-para-tu-proyecto/>
- [21] Ejemplo de tecnología MTS Consultado en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/40479/Telefon%c3%ada%20celular%2c%20desde%20sus%20inicios%20hasta%20la%20actualidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [22] Ejemplo de tecnología 2G Consultado en <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/40479/Telefon%c3%ada%20celular%2c%20desde%20sus%20inicios%20hasta%20la%20actualidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [23] Ejemplo de tecnología 3G Consultado en <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/40479/Telefon%c3%ada%20celular%2c%20desde%20sus%20inicios%20hasta%20la%20actualidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [24] Ejemplo de tecnología 4G Consultado en <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/40479/Telefon%c3%ada%20celular%2c%20desde%20sus%20inicios%20hasta%20la%20actualidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [25] Alcances 4G y 5G Consultado en: <https://info.burnsmcd.com/white-paper/wireless-broadband>

[26] Ejemplo de tecnología 5G consultado en:
https://www.elconfidencial.com/decompras/2020-06-02/mejores-cerraduras-electronicas-hogar-seguro_2620059