

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**DISEÑO DE UNA RED 4G LTE AVANZADO MEJORANDO LA
DENSIFICACIÓN DE RED DE ACCESO MEDIANTE DESPLIEGUE
HETEROGÉNEO DE CÉLULAS PARA LA CIUDAD DE JULIACA**

PRESENTADA POR:

EVER CHINO CATARI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO-PUNO

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELÉCTRÓNICA Y SISTEMAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DISEÑO DE UNA RED 4G LTE AVANZADO MEJORANDO LA
DENSIFICACIÓN DE RED DE ACCESO MEDIANTE DESPLIEGUE
HETEROGÉNEO DE CÉLULAS PARA LA CIUDAD DE JULIACA**

TESIS PRESENTADA POR:

EVER CHINO CATARI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 11/12/2018

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



PRESIDENTE:


Mg. TEOBALDO RAÚL BASURCO CHAMBILLA

PRIMER MIEMBRO:


M.Sc. EDDY TORRES MAMANI

SEGUNDO MIEMBRO:


Ing. LUCIO QUISPE APAZA

DIRECTOR/ASESOR:


M.Sc. GAVINO JOSÉ FLORES CHIPANA

Área : Telecomunicaciones y Redes de Datos

Tema : Redes Móviles

DEDICATORIA

A mis padres por el gran esfuerzo y el apoyo que me brindaron durante mi formación profesional a pesar de las dificultades que pasaron siempre estuvieron para mí.

A mis tíos quienes me brindaron su apoyo, sus consejos y su tiempo.

A mis hermanos con quienes soñamos desde niños lograr nuestros objetivos y planes en la vida.

AGRADECIMIENTOS

*El agradecimiento en primer lugar y en especial es para Dios quien me ha guiado
y dado fuerzas para seguir adelante también darme la oportunidad
de vivir en este lugar maravilloso durante todo este tiempo
a lo largo de mi desarrollo profesional y personal.*

*Un agradecimiento en especial a los docentes de la escuela profesional de
Ingeniera Electrónica por sus enseñanzas y experiencias compartidas que
me fueron útiles para afrontar los desafíos de la vida.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I.....	15
1.1 Introducción	15
1.2 Planteamiento del Problema.....	17
1.2.1 Definición del Problema Principal	17
1.2.2 Formulación del Problema Principal	17
1.2.3 Problemas Específicos	18
1.3 Objetivos	18
1.3.1 Objetivos Generales.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos	18
1.4 Hipótesis.....	19
1.4.1 Hipótesis General	19
1.4.2 Hipótesis Específicas	19
CAPÍTULO II	20
REVISIÓN DE LITERATURA	20
2.1 Fundamentos teóricos de las Redes 4G LTE en el Perú	20
2.1.1 Factores que ameritan la implementación de la Red 4G LTE Avanzado.....	20
2.1.1.1 Crecimiento en la Demanda de Datos Móviles.....	20
2.1.1.2 Capacidad de un Sistema de Comunicaciones Móviles	21
2.1.1.3 El Incremento de la Capacidad en un Sistema de Comunicaciones.....	22
2.2 Arquitectura de red 4G LTE	23
2.2.1 Evolución de la Tecnología UMTS a LTE.....	23
2.2.2 Elementos e Interfaces de la Red EPC	24
2.2.2.1 Elementos del EPC:.....	24
2.2.2.2 Interfaces del EPC.....	25

2.2.3 Elementos e Interfaces de la Red de Acceso E-UTRAN.....	27
2.2.3.1 Elementos de la E-UTRAN.....	27
2.2.3.2 Interfaces de la E-UTRAN.....	29
2.2.4 Técnicas de Acceso al Medio	30
2.2.4.1 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access).....	30
2.2.4.2 SC_FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)	33
2.2.5 Demanda de Calidad, Capacidad y Cobertura para LTE.....	34
2.2.5.1 Demanda de Velocidad	34
2.2.5.2 Demanda de Capacidad.....	35
2.2.5.3 Demandas en la Latencia	35
2.2.5.4 Demandas en Cobertura y Movilidad	36
2.2.6 Procesamiento de Diversidad	36
2.2.6.1 Diversidad de Transmisión MISO (Múltiple Input - Single Output).....	36
2.3 Redes Heterogeneos y Micro Celdas LTE.....	38
2.3.1 Auto Organización de las Redes.....	38
2.3.1.1 Configuración Automática de un eNB	38
2.3.1.2 Configuración Automática de Vecindades ANR	39
2.3.1.3 Coordinación de la Interferencia Inter-Celda ICIC.....	40
2.3.1.4 Redes Heterogéneos	43
2.3.1.5 Micro Celdas	45
2.3.1.6 Esquemas de Reusó de Frecuencias con Small Cell	46
2.3.1.7 Integración de las Small Cells a la RED LTE.....	47
2.3.1.8 Conectividad Dual.....	47
2.3.1.9 Integración con la Arquitectura de un eNB:	48
2.3.1.10 Backhaul.....	49
2.4 Antenas usadas para el Diseño.....	50
2.5 Antecedentes del Proyecto	53

CAPÍTULO III.....	64
MATERIALES Y MÉTODOS	64
3.1 Materiales.....	64
3.1.1 Hardware.....	64
3.1.2 Software.....	64
3.2 Diseño, Nivel y tipo de Investigación.....	65
3.2.1 Diseño de la Investigación.....	65
3.2.2 Nivel de Investigación.....	65
3.3 Población y Muestra de la Investigación	66
3.3.1 Población	66
3.3.2 Muestra.....	66
3.4 Ubicación y Descripción de la Investigación.....	66
3.4.1 Ubicación.....	66
3.4.2 Descripción de la Investigación.....	66
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos.....	67
3.6 Técnicas e Instrumentos de Diseño.....	71
3.7 Cálculo e Implementación	72
3.8 Cantidad de Celdas.....	73
3.9 Simulación del Diseño	74
3.10 Frecuencias de Operación de los Proveedores.....	89
3.11 Pérdida de Propagación.....	89
3.12 Cálculo de Número de Estaciones Base.....	92
3.13 Planificación de Frecuencia y Ratio C/I	92
3.14 Presupuesto de Enlaces Ascendente y Descendente.....	92
3.15 Potencia de Transmisor ENODO B	97
CAPÍTULO IV.....	100
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	100

DISCUSIÓN	101
CAPÍTULO V	103
CONCLUSIONES	103
CAPÍTULO VI.....	104
RECOMENDACIONES	104
CAPÍTULO VII	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
ANEXOS.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.1 Velocidades ofrecidas en internet móvil por operadora.....	20
Figura 2.1.2 Capacidad de un sistema de comunicación ancho de banda 5, 10, 20 MHz.	22
Figura 2.2.1 Evolución del sistema de Arquitectura desde GSM y UMTS a LTE.....	23
Figura 2.2.2 Arquitectura de la red 4GLTE conforme a 3GPP	26
Figura 2.2.3 Arquitectura e Interface de la E-UTRAN	29
Figura 2.2.4 Descripción grafica de un Resource Block	31
Figura 2.2.5 representación de la señal OFDM en el dominio del tiempo y la frecuencia	31
Figura 2.2.6 Comparación entre OFDMA y SC-FDMA Transmitiendo una serie de símbolos QPSK.....	34
Figura 2.2.7 Operación de la diversidad de transmisión en lazo cerrado	37
Figura 2.2.8 Operación de diversidad de transmisión en Lazo Abierto Técnica de Alamouti	38
Figura 2.3.1 Procedimiento de configuración automática de vecindades	39
Figura 2.3.2 Posibles esquemas de reúso de frecuencia en LTE	43
Figura 2.3.3 Densificación con Macro celdas adicionales (desplazamiento homogéneo)	44
Figura 2.3.4 Densificación complementario con nodos de baja potencia (desplazamiento Heterogéneo	45
Figura 2.3.5 Vista General de una macro celda con desplazamiento de micro celdas ..	47
Figura 2.3.6 Espectro dividido equivalente en tres grupos.....	47
Figura 2.3.7 Escenario de Conectividad Dual compuesto por un MeNB y dos SeNBs	48
Figura 2.4.1 Radiación de una antena sectorial	51
Figura 2.4.2 Radiación de una antena direccional	52
Figura 2.4.3 Radiación de una antena Omnidireccional.....	52
Figura 2.4.4 Radiación de antena omnidireccional	53
Figura 3.5.1 App Network Cell Info con información de una célula	70
Figura 3.5.2 Información brindada por App G-NetTrack Lite	71
Figura 3.6.1 Sistema de antena Activa	72
Figura 3.8.1 Ilustración área de alta interferencia en una red heterogénea	74
Figura 3.9.1 enlace P2P y zonas de Fresnel.....	75

Figura 3.9.2 Interfaz del simulador Airlink.....	76
Figura 3.9.3 Visualización con Google Earth.....	76
Figura 3.9.4 Características de la antena	77
Figura 3.9.5 Línea de radiación Site – Station1.....	78
Figura 3.9.6 Línea de radiación Site – Station2.....	78
Figura 3.9.7 Línea de radiación Site – Station3.....	78
Figura 3.9.8 Línea de radiación Site – Station4.....	79
Figura 3.9.9 Línea de radiación Site – Station5.....	79
Figura 3.9.10 Línea de radiación Site – Station6.....	79
Figura 3.9.11 Línea de radiación Site – Station7.....	80
Figura 3.9.12 Líneas de radiación y referencia con respecto al suelo o terreno de las antenas Site-Station1.....	81
Figura 3.9.13 Líneas de radiación y referencia con respecto al suelo o terreno de las antenas Site-Station2.....	81
Figura 3.9.14 Líneas de radiación y referencia con respecto al suelo o terreno de las antenas Site-Station3.....	82
Figura 3.9.15 Líneas de radiación y referencia con respecto al suelo o terreno de las antenas Site-Station4.....	82
Figura 3.9.16 Líneas de radiación y referencia con respecto al suelo o terreno de las antenas Site-Station5.....	83
Figura 3.9.17 Líneas de radiación y referencia con respecto al suelo o terreno de las antenas Site-Station6.....	83
Figura 3.9.18 Líneas de radiación y referencia con respecto al suelo o terreno de las antenas Site-Station7.....	84
Figura 3.9.19 Vista general de líneas de radiación y referencia con respecto al suelo o terreno de las antenas.....	84
Figura 3.9.20 Ubicación de las células o estaciones pequeñas.....	85
Figura 3.9.21 Enlaces punto a punto Station-Antenas pequeñas.....	86
Figura 3.9.22 Rango de cobertura para la estación mediana	88
Figura 3.9.23 Rango de cobertura para la estación pequeña	88
Figura 3.15.1 Cobertura en zona proyectada para el diseño de la ciudad de Juliaca...	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.2.1 Características de la interfaz aire en WCDMA comparado con LTE.....	35
Tabla 2.3.1 Categorías de Micro Celdas	45
Tabla 2.3.2 Solución típica de Backhaul Inalámbrica	50
Tabla 3.5.1 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	68
Tabla 3.14.1 Presupuesto de enlace descendente de 1024kbps	93
Tabla 3.14.2 Presupuesto de enlace Ascendente	95
Tabla 3.15.1 Niveles de transmisión de potencia y ancho de banda del eNB	99

ACRÓNIMOS

3GPP	Third Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation of Mobile Phone
AAS	Active Antenna System
DAS	Distributed Antenna System
DC	Dual Connectivity
eNB	Evolved NodeB
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
E-UTRAN	Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access Network
FDD	Frequency Division Duplex
FRR	Fractional Frequency Reuse
FSPL	Free Space Path Loss
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communication
HetNets	Heterogeneous Networks
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
LOS	Line of Sight
LTE	Long Term Evolution
MeNB	Master ENodeB
MME	Mobility Management Entity
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
P2P	Point to Point
P2MP	Point to Multipoint
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PLMN	Public Lan Mobile Network
PRB	Physical Resource Block
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RF	Radio Frequency
RLC	Radio Link Control
SAE	System Architecture Evolution
SeNB	Secondary eNodeB
SGSN	Serving GPRS Support Node
SINR	Signal to interference plus Noise Ratio
SWG	Serving Gateway
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access

RESUMEN

La calidad de servicio de la Tecnología móvil 4G LTE En la ciudad de Juliaca es pésimo, debido a la falta de instalación de antenas y el supuesto efecto en la salud evitando de esta forma su optimización mediante el despliegue en lugares donde la calidad de servicio es deficiente, por dos razones: a) Se Limita la densificación homogénea de células que de acuerdo al diseño o proyección cada operador tiene en su plan para cubrir las zonas que necesitan la optimización b) los residentes y sus prejuicios, en su mayoría infundados, sobre las tecnologías de redes móviles al desconocer los principios de funcionamiento y del espectro radioeléctrico. Este problema se debe a que el dimensionamiento homogéneo de células es visible y requiere una infraestructura costosa para el operador y no amigable para los Residentes. Por estas razones en la presente investigación se propuso el diseño de la densificación con pequeñas células mediante enlaces P2P desde las Macro Células existentes de este modo lograr la optimización de la red y calidad de servicio de las zonas saturadas y señal baja de recepción, se describió las características de las interfaces, su arquitectura, bandas de frecuencia de trabajo, se realizó el monitoreo, verificación de parámetros y medición de velocidades descendente y ascendente de la red 4G en diferentes zonas de la ciudad también se documentó los reportes de reclamos en la entidad fiscalizadora Osiptel, finalmente la ubicación de posibles puntos específicos de las pequeñas celdas para su densificación de esta forma tendremos el estudio de factibilidad para que se implemente la mejora por parte de las operadoras. De esta forma se logró realizar un diseño de despliegue heterogéneo de células para la red 4G en la ciudad de Juliaca.

Palabras Clave: 4G LTE, despliegue heterogéneo, Antena, frecuencia

ABSTRACT

The quality of service of the 4G LTE Mobile Technology In the city of Juliaca is defective, due to the lack of installation of antennas and the alleged effect on health thus avoiding its optimization by deploying in places where the quality of service is deficient, for two reasons: a) It limits the homogenous densification of cells, which according to the design or projection each operator has in his plan to cover the areas that need optimization b) Residents and their prejudices, mostly unfounded, about mobile network technologies when they ignore the principles of operation and the radio spectrum. This problem is due to the fact that the homogeneous sizing of cells is visible and requires an infrastructure that is expensive for the operator and unfriendly for Residents. For these reasons in the present investigation the design of the densification with small cells was proposed by means of P2P links from the existing Macro Cells in this way to achieve the optimization of the network and quality of service of the saturated zones and low reception signal, it was described the characteristics of the interfaces, its architecture, work frequency bands, the monitoring, verification of parameters and measurement of descending and ascending speeds of the 4G network in different places of the city were also documented the claims reports in the entity Osiptel audit, finally the location of possible specific points of the small cells for its densification in this way we will have the feasibility study so that the improvement is implemented by the operators. In this way, a heterogeneous cell deployment design for the 4G network was achieved in the city of Juliaca.

Keywords: 4G LTE, heterogeneous deployment, antenna, frequency

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

Las tecnologías móviles han contribuido a una variedad de capacidades y funcionalidades que se están convirtiendo en aplicaciones estándar en teléfonos móviles y otros dispositivos de comunicación. El teléfono móvil, se ha convertido en una plataforma que ofrece una experiencia interactiva multimedia a sus usuarios. Atribuimos la rápida evolución del teléfono móvil a dos características distintivas: su capacidad para conectar personas y su capacidad para facultar al usuario.

En relación con el acceso a la información en cualquier momento, en cualquier lugar y, de todos modos, esto se observa en la provisión de una variedad de contenidos y servicios audiovisuales móviles sin cargo, se pueden proporcionar tres tipos de contenido: contenido de personalización móvil (tonos de timbre, logotipos y papeles murales). Contenido de valor informativo (noticias, deportes, clima y actualización del mercado financiero) y contenido de entretenimiento. Con el fin de aprovechar la movilidad y la portabilidad de los dispositivos móviles, también se han desarrollado otros servicios para la plataforma móvil. Estos toman la forma de servicios de citas y servicios de información basados en la ubicación.

Aunque, el contenido y los servicios similares están disponibles en el entorno fijo, las crecientes demandas y requisitos para estas nuevas formas de la comunicación inalámbrica han impulsado el desarrollo y la evolución de la tecnología móvil y, con ella, el desarrollo de contenido móvil para satisfacer las crecientes demandas del usuario.

En esta investigación se pretende dar a conocer la solución al problema de densificación y optimización de la red 4G LTE en la ciudad de Juliaca, para demostrar la calidad de servicio ofrecido por la red, se realizó la recolección de datos y parámetros

con aplicativos móviles especializados, donde se verifica las zonas de la ciudad que no cuentan con los parámetros adecuados de esa tecnología debido a la falta de densificación adecuado que se requiere para los beneficios que ofrece esta tecnología, Afortunadamente esta tecnología ofrece alternativas para su densificación la cual solucionara los problemas de cobertura y saturación en zonas comerciales, residenciales y zonas donde no se permite la instalación de infraestructura para las antenas, el cual es la densificación con pequeñas celdas enfocadas para zonas donde se requiere optimizar la red con la misma calidad que ofrece una macro celda pero con baja potencia y ahorro de energía.

Se explica el planteamiento de la investigación en las cuales se muestran en las secciones de la formulación del problema, justificación del problema, objetivos de la investigación, objetivos específicos, para detallar a profundidad los ámbitos de esta investigación.

En el marco teórico se describe a la tecnología 4GLTE sus interfaces su arquitectura y los modos de operación de la tecnología, los requerimientos de capacidad cobertura ancho de banda de la red, las radiaciones de las antenas, seguidamente muestra los antecedentes de la investigación relacionados con esta tesis,

En el capítulo de la metodología, se indica el tipo de investigación, ubicación, población y la muestra, de igual manera el proceso de diseño de los enlaces P2P mediante el uso de un software que ayudara a ver las líneas de vista y sus coordenadas, en la parte final se muestra la optimización mediante la densificación de las pequeñas celdas dentro del área de cobertura de una macro celda

En los resultados se muestra a las células pequeñas desplegados y listos para solucionar los problemas de optimización de la red en dichas zonas y su aplicación con las futura generaciones de redes móviles.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de la región Puno , en la ciudad de Juliaca una de las ciudades que afronta los problemas de servicio deficiente de telefonía móvil debido a la limitada cantidad de estaciones base o repetidoras a consecuencia de la negación de su implementación de más antenas repetidoras y el aumento exponencial de abonados en las diferentes compañías que operan en el País, la lentitud al acceso a internet, recorte las llamadas causan gran preocupación a los residentes y empresas que están ubicadas en las zonas comerciales y residenciales es por ello que se plantea diseñar una red de acceso como una alternativa para mejorar las bondades que brinda cada una de las tecnologías móviles en la ciudad.

1.2.1 Definición del Problema Principal

El incremento del tráfico de datos genera un gran problema por resolver como la limitada capacidad de acceso a la red móvil o saturación, para lo cual se tendría la necesidad de la densificación de red de acceso mediante desplazamiento heterogéneo de células. Por lo cual es necesario diseñar una red con nuevas técnicas para su desplazamiento. La implantación de esta tecnología en la ciudad de Juliaca dará un gran impacto ya que en el desplazamiento de pequeñas células se notará los servicios de accesos con la rapidez a la respuesta solicitada. Actualmente la mayoría de los usuarios cuentan con un plan de datos para su dispositivo móvil debido a la competitividad, pero la baja densidad de celdas no se puede aprovechar los beneficios de esta tecnología. Es por eso que la tecnología LTE Avanzado puede ofrecer grandes beneficios si se implementa adecuadamente.

1.2.2 Formulación del Problema Principal

¿El diseño de una red de acceso 4G LTE Avanzado con desplazamiento heterogéneo de células podrá mejorar la calidad de servicio en los lugares donde actualmente se presentan problemas de cobertura y conflictos sociales?

1.2.3 Problemas Específicos

- ¿Como diseñar una red de acceso heterogéneo en la ciudad de Juliaca?
- ¿Como mejorar la densificación heterogénea en lugares donde no hay buena cobertura?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivos Generales

Diseñar una red 4G LTE Avanzado mejorando la densificación de red de acceso mediante desplazamiento heterogéneo en función a las células existentes y la densificación de pequeñas células de esta forma mejorar los problemas relacionados con la capacidad, cobertura y calidad que se suscitan dentro de una red de telefonía móvil de cuarta generación.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar un análisis introductorio de la arquitectura y funcionamiento de una red móvil 4G LTE de cuarta generación y los requerimientos que son necesarios para adaptarse en una red heterogénea.
- Investigar las principales particularidades de las micro células o Small Cells, así como los modos de operación, ventajas y desventajas que puedan presentarse en la red heterogénea.
- Determinar la factibilidad de densificación heterogénea con micro células en la ciudad de Juliaca en Zonas de alto tráfico de datos y lugares donde la macro célula presenta atenuación debido a la distancia y falta de densificación por problemas sociales.
- Mediante el uso de software y aplicativos dedicados, realizar mediciones de cobertura radioeléctrica y pruebas de velocidad de descarga de una

macro célula ubicados en los puntos de alto tráfico o críticos para luego mostrar resultados acerca de la cobertura y calidad de la macro célula para su posible optimización con las Micro celdas.

- A consecuencia de las experiencias adquiridas durante el desarrollo del proyecto, establecer conclusiones y recomendaciones para tomar como referencia en futuros proyectos de investigación.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis General

El diseño de la nueva red de Acceso a base de las tecnologías alternativas como parte del mejoramiento en la cobertura permitirá la optimización en la transmisión en grandes cantidades de datos con un mejor ancho de banda para alcanzar las expectativas y satisfacciones en los usuarios finales.

1.4.2 Hipótesis Específicas

- Se diseñará la distribución de las micro células en puntos estratégicos y específicos para recuperar la calidad de servicio de la zona saturada o lejana a una macro celda.
- Se realizará los enlaces punto a punto desde una macro celda hacia los puntos específicos de la micro celda para las comunicaciones troncales para así recuperar la calidad de la tecnología celular.
- Sera posible densificar las zonas con micro celdas de manera progresiva para evitar sanciones administrativas por Osiptel hacia las operadoras móviles y reclamos de los usuarios finales.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LAS REDES 4G LTE EN EL PERÚ

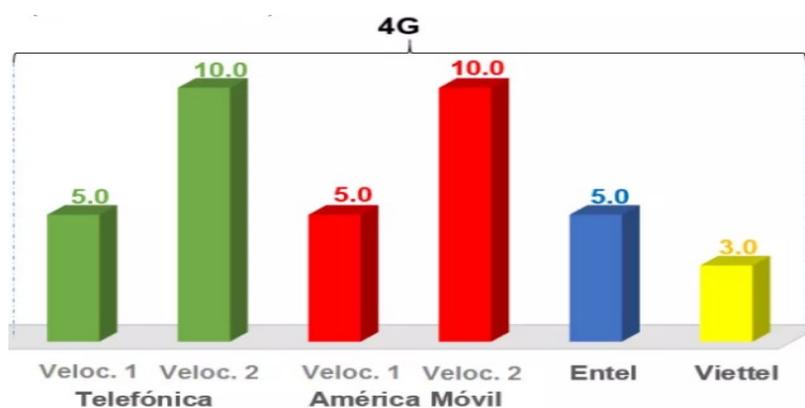
2.1.1 Factores que ameritan la implementación de la red 4G LTE Avanzado

2.1.1.1 *Crecimiento en la Demanda de Datos Móviles*

Desde la aparición de las primeras generaciones de tecnologías móviles el tráfico dominante en las comunicaciones consistían solo en las llamadas de voz mientras que el de datos móviles no se tomaba en cuenta hasta que a partir del año 2010 se experimenta un cambio en estas tendencias, ya que la necesidad de utilizar el internet móvil empieza a incrementarse de manera casi exponencial a lo largo de los años venideros, y por otro lado la llamadas de voz empiezan a estancarse y con tendencia a reducirse ya que con el uso del internet móvil de las tecnologías 3G y recientemente con tecnología 4G el uso de datos genera una gran demanda por los usuarios.

para ilustrar la demanda la siguiente figura muestra las velocidades 4G LTE ofrecidas por los operadores hasta diciembre del 2018.

Figura 2.1.1 Velocidades ofrecidas en internet móvil por operadora



Fuente Osiptel

Esta tendencia continua ya que la necesidad de acceder a internet por los dispositivos móviles simplifica enormemente la realización de las tareas o trabajos dependiendo de cada usuario como puede ser estudiante o trabajador que necesita la obtención de información mientras viajan o hacen alguna actividad en paralelo.

A continuación, se analizará los límites de capacidad de un sistema de comunicación móvil y la posibilidad de lograr su incremento

2.1.1.2 Capacidad de un Sistema de Comunicaciones Móviles

En el año de 1948, Claude Shannon descubre un límite teórico sobre la velocidad de datos que se puede lograr en un sistema de comunicación describiendo la siguiente ecuación. (Holma & Antti, 2009)

$$C = B * \log_2(1 + SINR) \quad (2.1.1.1)$$

Donde:

C es la capacidad del canal en bits/s

B: Ancho de banda en Hz

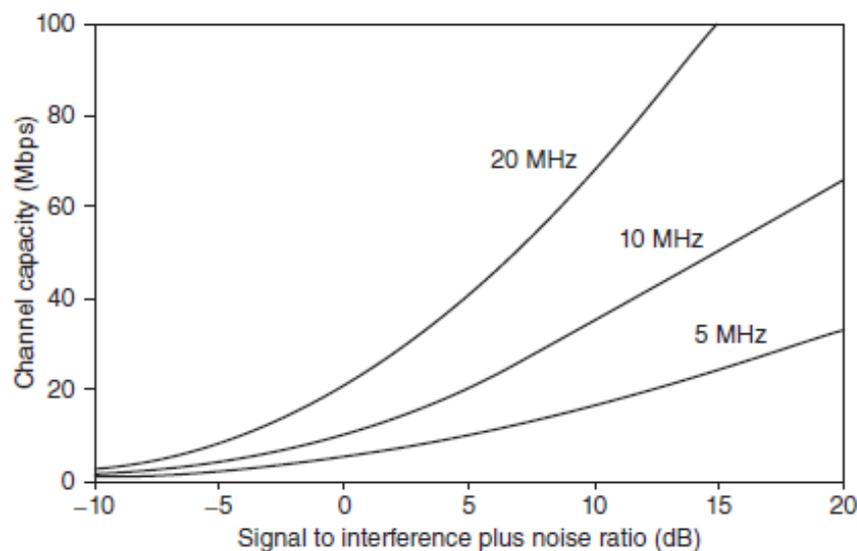
SINR (signal to interference plus noise ratio) representa la potencia de la señal requerida en el receptor, dividida para la potencia debido al ruido y a la interferencia

$$SINR = \frac{\text{Potencia de la señal requerida en el receptor}}{\text{Potencia de la Interferencia} + \text{Potencia del ruido}} \quad (2.1.1.2)$$

$$SINR(dB) = 10 \log_{10}(SINR) \quad (2.1.1.3)$$

En la figura 2.1.2 se muestra la capacidad de canal para diferentes anchos de banda.

Figura 2.1.2 Capacidad de un sistema de comunicación ancho de banda 5, 10, 20 MHz.



Fuente: (Cox, 2014, pág. 10)

2.1.1.3 El Incremento de la Capacidad en un Sistema de Comunicaciones

Específicamente se tiene tres maneras para aumentar la capacidad de un sistema de comunicaciones, las cuales se basan en la ecuación 2.1.1.1 y en la figura 2.1.1.2. la primera y las más efectiva es el uso de micro celdas o Small Cells en una red celular, la capacidad de canal es la tasa de datos máxima que una sola celda puede manejar, en consecuencia, mediante la implementación de estaciones base adicionales, y reduciendo el tamaño de cada celda, es posible aumentar la capacidad de una red, en este caso la capacidad máxima equivale a multiplicar el número de celdas que se añaden a la red por la ecuación 2.1

La segunda técnica es aumentar el ancho de banda, pero el espectro radioeléctrico es manejado por la UIT y por la MTC, donde el uso creciente de las telecomunicaciones móviles ha conllevado al aumento de la asignación de espectro para las tecnologías 2G y 3G. sin embargo, solo hay la disponibilidad de una cantidad limitada de espectro radioeléctrico lo que significa que esta técnica es limitada.

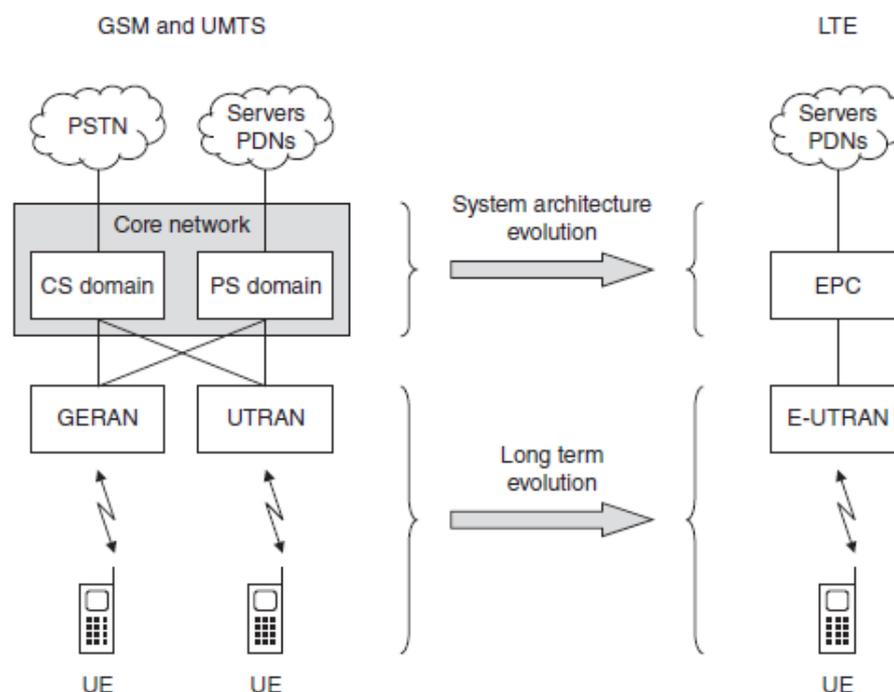
La tercera técnica es mejorar la tecnología de comunicaciones que se está utilizando, esto trae consigo varios beneficios los cuales permite acercarse aún más a la capacidad teórica del canal y obtener un mejor SINR, aprovechando así al máximo el ancho de banda asignado. esta mejora progresiva en la tecnología de la comunicación, es un tema constante en el desarrollo de las telecomunicaciones móviles, y es el principal motivo para la introducción a la tecnología LTE.

2.2 ARQUITECTURA DE RED 4G LTE

2.2.1 Evolución de la Tecnología UMTS a LTE

La 3GPP inicio las investigaciones sobre la evolución de la UMTS a largo plazo a mediados del año 2004, cuya misión era de mantener los sistemas de comunicación móvil de manera competitiva por un periodo de tiempo de 10 años con una proyección a futuro con nuevas velocidades de transmisión de datos y a una latencia reducida

Figura 2.2.1 Evolución del sistema de Arquitectura desde GSM y UMTS a LTE



Fuente: (Cox, 2014)

La figura 2.2.1.1 muestra la comparativa entre las arquitecturas de red del UMTS y LTE donde En esta nueva arquitectura el EPC representa el núcleo de la red en el dominio de paquetes, que constituye el reemplazo del núcleo que realizaba la conmutación de circuitos y de paquetes en las tecnologías GSM y UMTS .La tecnología 4G LTE posee una nueva arquitectura diseñada por la 3GPP, que se clasifica en dos frentes de trabajo, siendo la SAE (System Architecture Evolution), que se enfoca en la evolución del Core o núcleo de la red y el LTE (Long Term Evolution) que cubre tanto la evolución de los dispositivos móviles, como la red de acceso (RAN), a través de la interfaz aire. El conjunto que cubre a todo el sistema SAE y LTE, se conoce como sistema de paquetes evolucionado EPS (Evolved Packed System), mientras el acrónimo LTE solo se refiere a la evolución de la interfaz aire. Sin embargo, la 3GPP nombra las siglas LTE para todo el sistema en general.

El presente proyecto solo se enfocará en la red de acceso E-UTRAN, motivo por la cual, solo se describirá los elementos del Core EPC, por otra parte, se profundizará con mayor detalle, los elementos que conforman la interfaz aire teniendo como elemento principal las micro celdas que se desarrollaran en los siguientes capítulos.

2.2.2 Elementos e Interfaces de la Red EPC

2.2.2.1 Elementos del EPC:

- **HSS:** (Home Subscriber System) es la base de datos que contiene la información de suscripción para el móvil con la red EPS. Esta unidad almacena Identidades, datos del servicio y localización de usuarios.
- **PGW:** (Packet Data Gateway) es el Gateway que realiza el intercambio de tráfico con redes externas (Packet Data Network) clave para Policy enforcement y recogida de datos de información, ancla para traspasos con redes no 3GPP.

- **PCRF:** (Policy and Charging Rules Function) cumple la función de Gestión de políticas de QoS y tarificación.
- **MME:** (Mobility management Entity) es el servidor de señalización (Funciones similares a un SGSN), gestión de movilidad y sesiones: act, posición, paging...
- **SGW:** (Serving Gateway) Intercambio de tráfico de usuario entre red de acceso y núcleo de red IP, ancla para trasposos entre otras redes 3GPP.
Cuando el móvil se desplaza a una nueva zona, cambia de SGW, mientras que el PGW normalmente se mantiene como único, mientras el móvil está conectado a la red

2.2.2.2 Interfaces del EPC

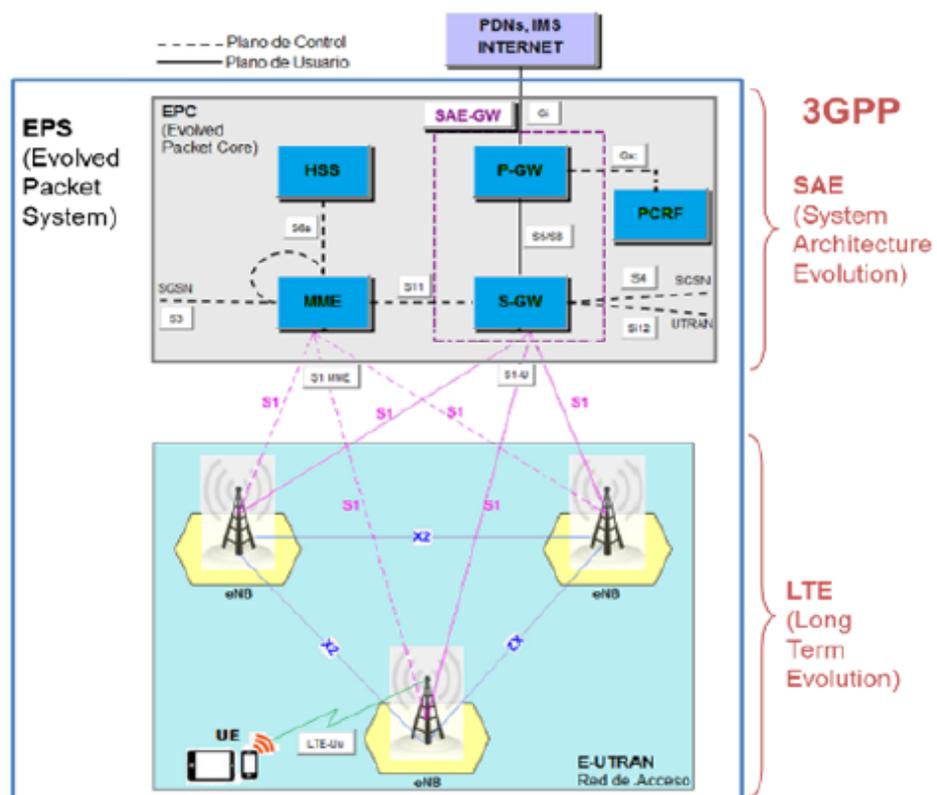
La arquitectura de la red Core 4G LTE tiene las siguientes interfaces

- **Gi:** es la interfaz hacia la red de datos externa de paquetes, ejemplo la internet contiene el último punto de presencia de IP de los usuarios finales: Toda la movilidad de terminales dentro de 3GPP es manejado por debajo de este interfaz.
- **Gx:** es la interfaz que proporciona transferencia de políticas de (QoS) y reglas de cobro desde el PCRF hacia el PGW.
- **S5/S8:** es la interfaz entre el SGW y el PGW, en principios de S5 y S8 son la misma interfaz, la diferencia es que el S8 es usado cuando se tiene Roaming entre diferentes operadores, mientras que el S5 se usa en la red local.
- **S3:** es una interfaz de control entre el MME y las SGSN de tecnologías externas como 2G/3G, tiene la funcionalidad para dar soporte de señalización de movilidad en modo Idle entre LTE, UTRAN y GERAN.

- **S4:** es la interfaz entre PGW y SGSN de las otras tecnologías habilitadas.
- **S12:** es la interfaz entre el SGW y UTRAN para el plano de usuarios, esta interfaz se habilita cuando la opción Direct Túnel está establecida.
- **S11:** es la interfaz entre el MME y el SGW, es el equivalente a la interfaz entre el SGSN y el GGSN del Core de 3G, con algunas funciones adicionales de coordinación de Paging.
- **S6a:** permite la autenticación/autorización de acceso del usuario al EPS y actúa como interfaz entre MME y HSS.

La arquitectura de EPC es flexible, donde es posible el empleo de un único nodo para implementar el SGSN y el MME, permitiendo la disponibilidad de una red con un núcleo de paquetes común para múltiples tecnologías móviles existentes.

Figura 2.2.2 Arquitectura de la red 4GLTE conforme a 3GPP



Fuente (Cox, 2014)

2.2.3 Elementos e Interfaces de la Red de Acceso E-UTRAN

El proyecto de estudio se enfoca en la red de acceso E-UTRAN el cual maneja las comunicaciones de radio entre el equipo móvil del usuario y el Core EPC que consta de un solo componente de red el cual es el eNB (nodo evolucionado) y las interfaces de red entre varios eNB son las X2, y entre el eNB y el Core EPC es el S1

2.2.3.1 Elementos de la E-UTRAN

- **Equipo de Usuario (UE):** es el dispositivo que permite al usuario acceder a los servicios que ofrece la red móvil, el componente que se encuentra al interior del UE, conocido como ME (Mobile Equipment), se subdivide en dos componentes llamados MT (Mobile Termination), el cual maneja todas las funciones de comunicación, y TE (terminal Equipment) que es el dispositivo móvil por donde fluyen los datos.
- **Nodo B evolucionado eNB (Evolved Node B):** Cada eNB es una estación base que controla los móviles en una o más celda. Un móvil establece comunicación con una sola estación base y una sola celda a la vez y no existe el soft handover que se ocurría en tecnologías anteriores como la UMTS, donde un móvil podía estar conectado simultáneamente a más de una celda, fundamentalmente para realizar el proceso de handover.

El eNB tiene dos funciones fundamentales: primero, el eNB envía las transmisiones de radio hacia a todos sus teléfonos móviles en el enlace descendente y recibe las transmisiones de los móviles en el enlace ascendente mediante el proceso análogo y digital de la señal que realiza la interfaz de aire LTE (Uu)

Segundo, el eNB controla el funcionamiento de bajo nivel de todos sus móviles, mediante el envío de mensajes de señalización tales como comandos de handover referentes a la transmisión de radio, con el objeto de reducir la latencia que surge cuando el móvil intercambia la información con los elementos de red.

En comparación con la UTRAN se han hecho algunos cambios significativos en la asignación de funcionalidades del eNB: a continuación, detallaremos las principales funciones de este componente dentro de la red LTE, donde es el objeto de este estudio.

- Control de la celda y soporte para MME: el eNB controla los recursos de radio de sus propias celdas, entrega de forma ordenada al MME los recursos de la celda que este le solicita.
- El eNB es el responsable de controlar la movilidad de los terminales en estado activo. Esto se hace ordenando al móvil que primero efectúe la medición de la celda y luego realice el handover cuando sea necesario.
- Control y seguridad del plano de Usuario, mediante el cifrado y protección de la integridad de la señalización RRC.
- Multiplexación y mapeo: el eNB realiza el mapeo de los canales lógicos sobre los canales de transporte.
- El eNB maneja las funciones de la capa física como aleatorización (scrambling). Diversidad de transmisión, procesamiento para el Beamforming, y la modulación OFDM, el eNB también se encarga de ciertas funciones de la capa uno, como adaptación de enlace y control de potencia.

- El eNB proporciona la funcionalidad de configurar variables y condiciones internas del mismo eNB, y hacer mediciones en el entorno externo de radio.

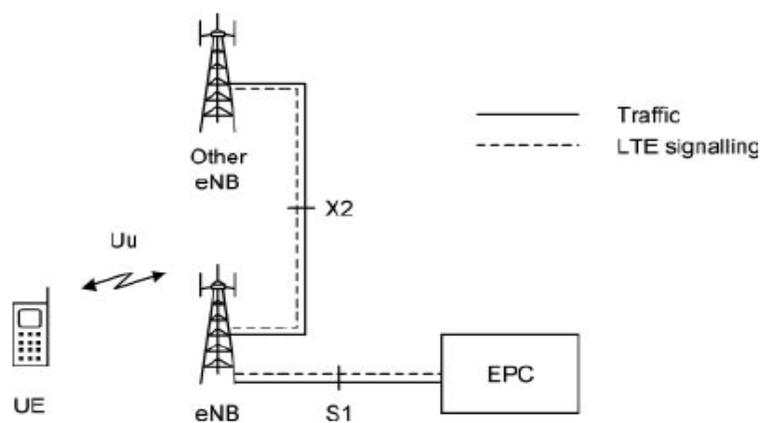
2.2.3.2 Interfaces de la E-UTRAN

Cada estación base está conectada a la Core EPC por medio de la interfaz S1, También las estaciones base están conectadas entre sí y están en constante escucha a través de la interfaz X2, en otras palabras, se utiliza para el reenvío de la señalización y de paquetes durante el proceso de handover. La interfaz X2 es opcional por las siguientes razones:

- Primero, la comunicación solo es necesaria entre estaciones vecinas que podrían estar involucrados en el proceso de handover.
- segundo las comunicaciones X2 más importantes se pueden realizar por medio del núcleo Core EPC. Utilizando dos instancias de S1, aunque de manera indirecta y más lenta. Sin embargo, una red puede configurar todas sus interfaces X2 automáticamente, utilizando las funciones de auto optimización SON (Self Organization Network)

en la siguiente figura se muestra la arquitectura e interface de la E-UTRAN

Figura 2.2.3 Arquitectura e Interface de la E-UTRAN



Fuente: (Cox, 2014, pág. 24)

las interfaces X2 y Uu pertenecen a la interfaz aire.

2.2.4 Técnicas de Acceso al Medio

En un esquema particular de comunicaciones uno a uno en el que se basan otros sistemas de comunicaciones, en la red celular una estación base tiene que transmitir para muchos móviles a la vez, esto se hace mediante el intercambio de recursos en la interfaz de aire con una técnica denominado como acceso múltiple.

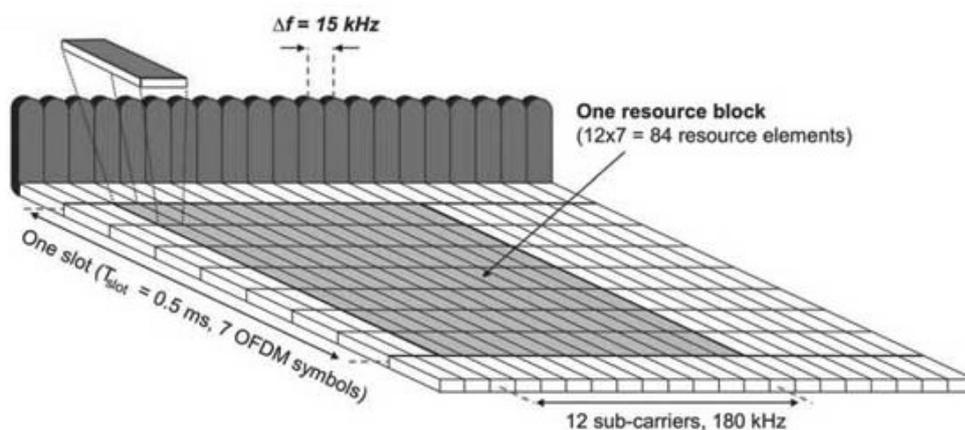
A continuación, se hará un análisis detallado de las técnicas de acceso al medio que utiliza LTE, estandarizándose con OFDMA para el enlace descendente y SC-FDMA para el enlace ascendente.

2.2.4.1 OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*)

Para entender la técnica OFDMA, se debe empezar revisando los principios de OFDM, el cual es un esquema de modulación digital multi portadora, frecuentemente utilizado en los sistemas inalámbricos, pero relativamente nuevo en los sistemas de telefonía celular.

Por otra parte, se debe entender el concepto de Resource Block, el cual se define como el conjunto mínimo de recurso de capa física, que un eNB puede asignar a un UE, quiere decir, un conjunto de 12 subportadoras, que contienen 84 Resource elements, durante una subtrama este proceso se explica gráficamente en la siguiente figura

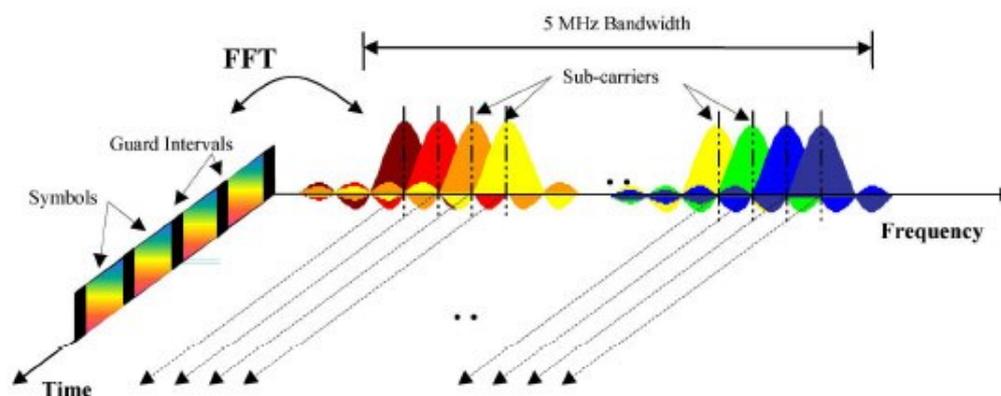
Figura 2.2.4 Descripción grafica de un Resource Block



Fuente: (Tutorialspoints, s.f.)

Por ende, el OFDM, consiste en transmitir paralelamente hasta un total de 1200 subportadoras de banda estrecha, por lo general se transmiten en Resource Blocks de 12 subportadoras como se muestra en la figura.2.2.4.1 por ejemplo, en un ancho de banda de 20MHz, hasta 100 Resource Blocks se pueden transmitir. Cada una de esas subportadoras, puede ser modulado con tres esquemas de modulación diferentes, como son QPSK, 16QAM y 64QAM

Figura 2.2.5 representación de la señal OFDM en el dominio del tiempo y la frecuencia



Fuente: (Rohde&schwarz, s.f.)

En seguida, se mencionan las principales características de OFDM:

- Son completamente inmunes a los retardos por propagación multi trayecto esto se da gracias a que la longitud de los símbolos usados puede ser separado por un intervalo de guarda denominado Prefijo Cíclico (CP).
- El hardware para OFDM es más fácil de implementar que los demás sistemas.
- Puede ser fácilmente utilizado en amplios canales que tienen alta resistencia al desvanecimiento.
- Se torna sensible a los errores en frecuencia y ruidos de fase debido a la cercanía de las subportadoras.
- Tiene un mejor desempeño al trabajar con la configuración de antenas MIMO. La representación en el dominio de la frecuencia de las señales permite una fácil recodificación para coincidir con la señalen frecuencia y con la característica de fase de una canal de radio multi trayecto.
- En los bordes de cobertura de la celda, OFDM presenta mayor probabilidad a la interferencia inter celdas, una desventaja en comparación con CDMA, el cual utiliza códigos aleatorios denominados Scrambling para protegerse contra la ICI.
- Con la técnica OFDM, las transmisiones entre móviles muy cercanos pueden sufrir desvanecimiento e interferencia, para evitar eso, LTE utiliza la técnica OFDMA la cual incorpora características de TDMA.

OFDMA se considera una técnica de transmisión mejorada y más robusta, ya que permite que los subconjuntos de las subportadoras se asignen dinámicamente entre los diferentes usuarios de una canal. Gracias al Sistema de comunicación troncalizado en el cual los usuarios comparten

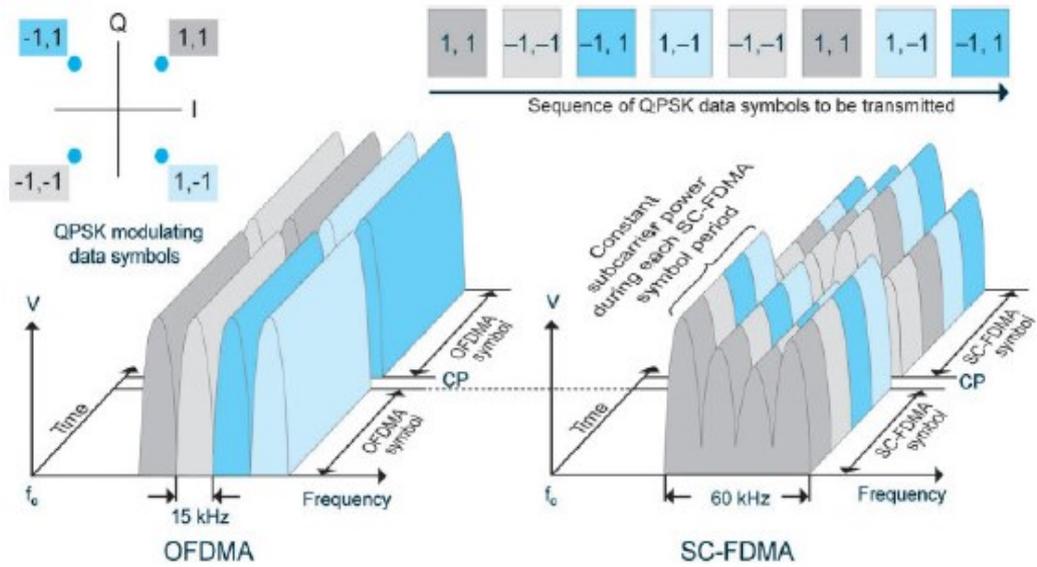
todos los canales disponibles evitando así que dependan de un canal determinado y no puedan transmitir su mensaje si este se encuentra ocupado, OFDMA brinda resistencia al desvanecimiento selectivo de frecuencia.

2.2.4.2 SC_FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)

Para LTE, OFDMA funciona correctamente, sin embargo, tiene un inconveniente con la potencia de la señal transmitida que está sujeta a variaciones significativas, debido a la variación de la amplitud de la señal que resulta de la modulación de cada una de las subportadoras. Estos picos de señal al mismo tiempo se reflejan en la variación de potencia de la señal transmitida, la cual muestra un alto pico de relación de potencia media PAPR. (Cox, 2014, pág. 82) Estas variaciones de potencia pueden ocasionar problemas en el amplificador de potencia que está en el transmisor, si este amplificador es lineal, entonces la potencia de salida es proporcional a la entrada, de esta forma la onda de salida es idéntica a la forma de onda de la señal de entrada. Si por el contrario el amplificador no es lineal entonces se obtendrá una forma de señal de salida distorsionada en consecuencia cualquier distorsión de la forma de onda en dominio del tiempo, distorsionará también a la forma de onda en el dominio de la frecuencia, de esta manera esta señal invadirá bandas de frecuencia adyacentes causando interferencia a los demás receptores.

Por último, las diferencias entre el OFDMA y SC-FDMA se representan en la siguiente figura, donde la señal de OFDMA se muestra como una señal multi portadora, mientras que la señal SC-FDMA se muestra como una sola frecuencia portadora es por ello que se denomina portadora simple.

Figura 2.2.6 Comparación entre OFDMA y SC-FDMA Transmitiendo una serie de símbolos QPSK



Fuente: (Rumney, 2013)

2.2.5 Demanda de Calidad, Capacidad y Cobertura para LTE

2.2.5.1 Demanda de Velocidad

Las velocidades en la descarga y de subida se proyectaron hasta 100Mbps de descarga y 50Mbps de subida, respectivamente, siendo los resultados iniciales de descarga y subida 300Mbps y 75Mbps, lo cual superaron las expectativas esperados. Es preciso mencionar que estos picos de velocidad se pueden lograr únicamente en condiciones ideales, pero en escenarios reales son totalmente diferentes debido a los factores externos que pueden presentarse en la zona a implementarse.

A continuación, se presenta una tabla donde se describen las características de la interfaz aire en LTE comparado con WCDMA

Tabla 2.2.1 Características de la interfaz aire en WCDMA comparado con LTE

CARACTERISTICA	WCDMA	LTE
Esquema de acceso	WCDMA	OFDMA, SC-FDMA
Reúso de frecuencia	100%	Flexible
Uso de antenas MIMO	Desde Reléase 7	SI
Ancho de Banda	5 MHz	1.4, 3, 5, 10,15 y 20 MHz
Duración de la trama	10 ms	10 ms
Intervalo de transmisión	2 a 10 ms	1ms
Modos de Operación	FDD y TDD	FDD y TDD
Adelanto de uplink timing	No requerido	requerido
Canales de transporte	Dedicado y compartido	compartido
Control de potencia ascen.	rápido	lento

Fuente (Cox, 2014, pág. 13)

2.2.5.2 Demanda de Capacidad

La mejor medida de la capacidad, es la eficiencia espectral, que expresa la capacidad de una celda por unidad de ancho de banda en MHz, es mucho más eficiente que las tecnologías anteriores

2.2.5.3 Demandas en la latencia

La latencia es un requerimiento importante, específicamente para aplicaciones en tiempo real, como por ejemplo video conferencias, juegos online, por esta razón se enfatizó en dos ángulos; primero, el tiempo que demoran los datos desde un teléfono móvil hasta la red, debe ser menor a los 5 ms siempre que no haya congestión en la interfaz aire. Segundo, Los UE operan en dos estados: modo activo y modo standby,

donde en modo activo está en comunicación con la red y en modo standby está en estado de espera. Para la latencia en LTE se establece que un teléfono debe conmutar de modo de espera a modo activo en menos de 100 ms después de la intervención del usuario (Cox, 2014, pág. 12).

2.2.5.4 Demandas en Cobertura y Movilidad

En la exigencia de cobertura, LTE funciona de manera óptima para un radio de cobertura de hasta 5Km, trabaja con un rendimiento degradado hasta 30Km. Asimismo, con referente a la movilidad, puede tener un funcionamiento óptimo hasta en 15Km/h, presenta un alto rendimiento hasta 120Km/h, y soporta velocidades hasta 350Km/h. (Cox, 2014, pág. 13)

Finalmente, LTE está diseñado para operar en varios anchos de banda que van desde los 1.4MHz hasta los 20 MHz según detallado en la tabla de arriba.

2.2.6 Procesamiento de diversidad

2.2.6.1 Diversidad de Transmisión MISO (Múltiple Input - Single Output)

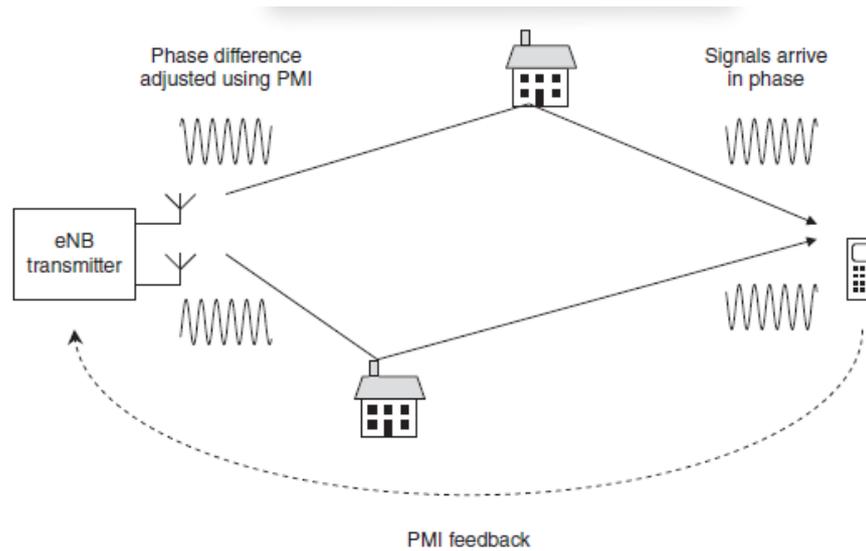
La diversidad de transmisión mitiga el desvanecimiento mediante el uso de dos o más antenas en el transmisor. sin embargo, presenta un problema crítico: las señales se suman en una única antena de recepción que pueda ocasionar un riesgo de interferencia destructiva, para evitar este inconveniente se han planteado dos diversidades de transmisión.

- **Diversidad de Transmisión en lazo Cerrado.**

El transmisor envía dos copias de la señal en la forma esperada, además se aplica un desplazamiento de fase a una o ambas señales antes de la transmisión. Al hacer esto, se puede garantizar que las dos señales lleguen al receptor en fase, sin ningún riesgo de interferencia destructiva. El

desplazamiento de fase se determina mediante una matriz indicadora de Pre-codificación PMI (Pre-Coding Matrix Indicator), la cual es calculada por el receptor y se realimenta hacia el transmisor como se visualiza en la siguiente figura.

Figura 2.2.7 Operación de la diversidad de transmisión en lazo cerrado



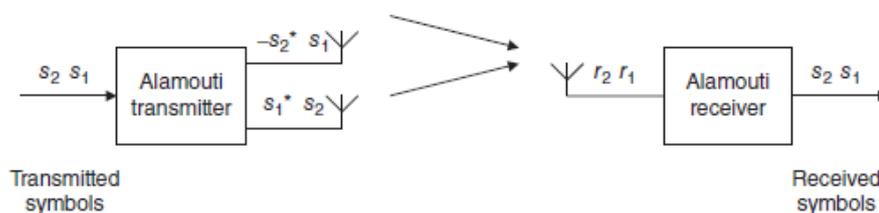
Fuente (Cox, 2014, pág. 89)

Una simple PMI podría mostrar dos escenarios; si la transmisión de ambas señales fue sin cambios de fase, o la segunda señal fue con un desfase de 180 grados, entonces si la primera opción conduce a una interferencia destructiva la segunda entrara en funcionamiento automáticamente

- **Diversidad de Transmisión a lazo Abierto.**

Aquí el transmisor trabaja con dos antenas para enviar dos símbolos, S1 y S2 sucesivamente en dos intervalos de tiempo, en el primer intervalo el transmisor envía S1 desde la primera antena y S2 desde la segunda antena, mientras que el segundo intervalo envía S2 desde la primera antena y S1 desde la segunda antena como se ilustra en la siguiente figura

Figura 2.2.8 Operación de diversidad de transmisión en Lazo Abierto Técnica de Alamouti



Fuente: (Cox, 2014, pág. 90)

En el lado del receptor se puede ahora hacer dos mediciones sucesivas de las señales recibidas que responden a dos combinaciones diferentes de S_1 y S_2 , A continuación, al resolver las ecuaciones resultantes se recupera los dos puntos transmitidos. Solo hay dos requisitos: los patrones de desvanecimiento deben permanecer más o menos iguales ente el primero y el segundo intervalo, además dos señales no deben someterse a desvanecimientos al mismo tiempo.

2.3 REDES HETEROGENEOS Y MICRO CELDAS LTE

2.3.1 Auto Organización de las Redes

La tecnología 4G LTE al igual a las demás tecnologías de telecomunicaciones móviles, es controlada por un sistema de gestión de red, el cual tiene varias funciones como son: gestionar su software, establecer los parámetros que tiene configurados los elementos de red y también la capacidad de detectar y corregir los errores o fallas de funcionamiento. A través del uso de un sistema de gestión de este tipo, un operador puede configurar y optimizar, los componentes que pertenecen a la red de acceso, de distribución y el mismo Core. (Cox, 2014, pág. 289)

2.3.1.1 Configuración Automática de un eNB

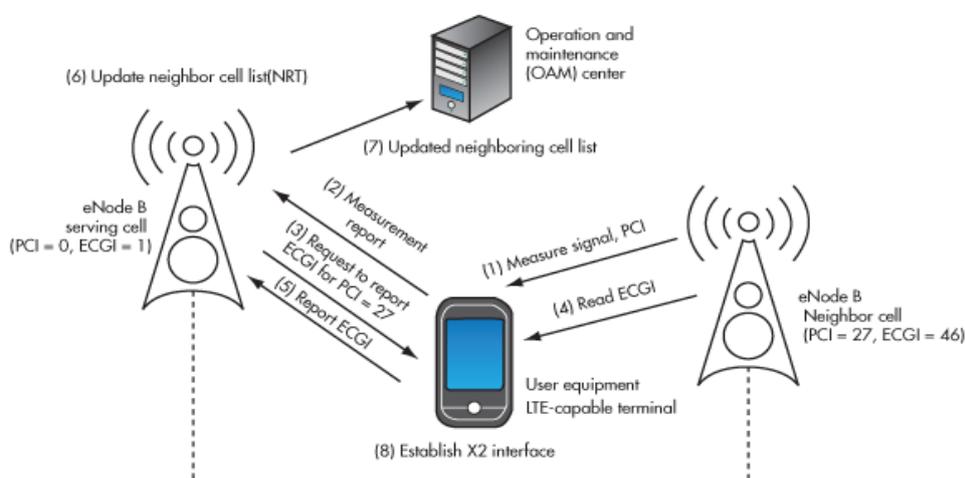
LTE se ha diseñado para que un operador de red pueda configurar una nueva estación base con un conocimiento mínimo del mundo exterior, que podría incluir el

nombre de dominio del sistema de administración de red y los nombres de dominio de sus MME y los servidores Gateway. La estación base puede adquirir la otra información que necesita mediante un proceso de autoconfiguración. Durante este proceso, la estación base se pone en contacto con el sistema de administración y descarga el software que necesitará para su funcionamiento. También descarga un conjunto de parámetros de configuración, como un código de área de seguimiento, una lista de identidades PLMN y la identidad de celda global y la potencia de transmisión máxima de cada celda. (Cox, 2014, pág. 289)

2.3.1.2 Configuración Automática de Vecindades ANR

Durante el proceso de configuración descrito anteriormente, no es necesario que una estación base descubra nada acerca de sus celdas vecinas y no es necesario que configure una lista de vecinos. Esto elimina una gran carga al operador de red y una fuente potencial de error. En su lugar, un móvil puede identificar una celda vecina por sí mismo y puede informar a la estación base sobre ello utilizando los informes de medición RRC (Radio Resource Protocol). La siguiente figura muestra el procedimiento automático que realiza la estación base para establecer comunicación con su celda vecina.

Figura 2.3.1 Procedimiento de configuración automática de vecindades



Fuente: (Electronicdesign, s.f.)

En el procedimiento general de ANR, el eNB ordena al terminal LTE para tomar medición de calidad de las celdas vecinas de forma periódica, en la misma frecuencia, por ejemplo: mientras lo hace, el dispositivo puede detectar un PCI que no figura en la lista de vecinos. Al enviar informe de la medición a la red, el dispositivo utiliza la identidad de la celda para indicar la celda de la que está informando, incluida la celda recién detectada con un PCI de 27. Después de recibir el informe de medición, el eNB le indica al terminal que informe el ECGI, mientras lee el BCCH de esa celda. en el siguiente paso, el UE informa el ejemplo ECGI de 46, que el eNB utilizara para actualizar su tabla de relación de vecinos (NRT). esta tabla contiene para cada celda la relación de vecinos (NT), determinada por el identificador de la celda objetivo (TCI), que comprende ECGI y PCI. Para cada TCI, se establecerán tres atributos: sin eliminación, sin traspaso y sin X2. La primera estipula que el eNB no eliminara esta celda de la NRT. El segundo estipula que no se iniciara ningún traspaso a esta celda, mientras que el atributo tres excluye el establecimiento de la interfaz X2 para esta celda identificada y su eNB de servicio. el centro de operación y mantenimiento (OAM) controla los atributos listados. Es la única autoridad que puede eliminar entradas de la NRT.

2.3.1.3 Coordinación de la Interferencia Inter-Celda ICIC

En los sistemas de comunicaciones móviles se pueden clasificar en dos tipos de interferencias, los cuales son intracelular: cuando se produce entre usuarios servidos por una misma celda e intercelular, cuando la interferencia afecta a transmisiones entre usuarios servidos por diferentes celdas.

La tecnología LTE está libre de interferencia intracelular gracias a la función de scheduling que asegura que un PRB solo puede ser asignado a las transmisiones de un único usuario en cada subtrama, evitando así las colisiones entre las transmisiones de múltiples usuarios al acceder al canal compartido. sin embargo, en LTE si existe la

interferencia intercelular, la cual ocurre cuando usuarios de distintas celdas tiene asignados el mismo PRB de la misma subtrama; el impacto es mayor a medida que las celdas donde ocurra esta situación sean más cercanas. Dicha interferencia es capaz de causar los siguientes efectos:

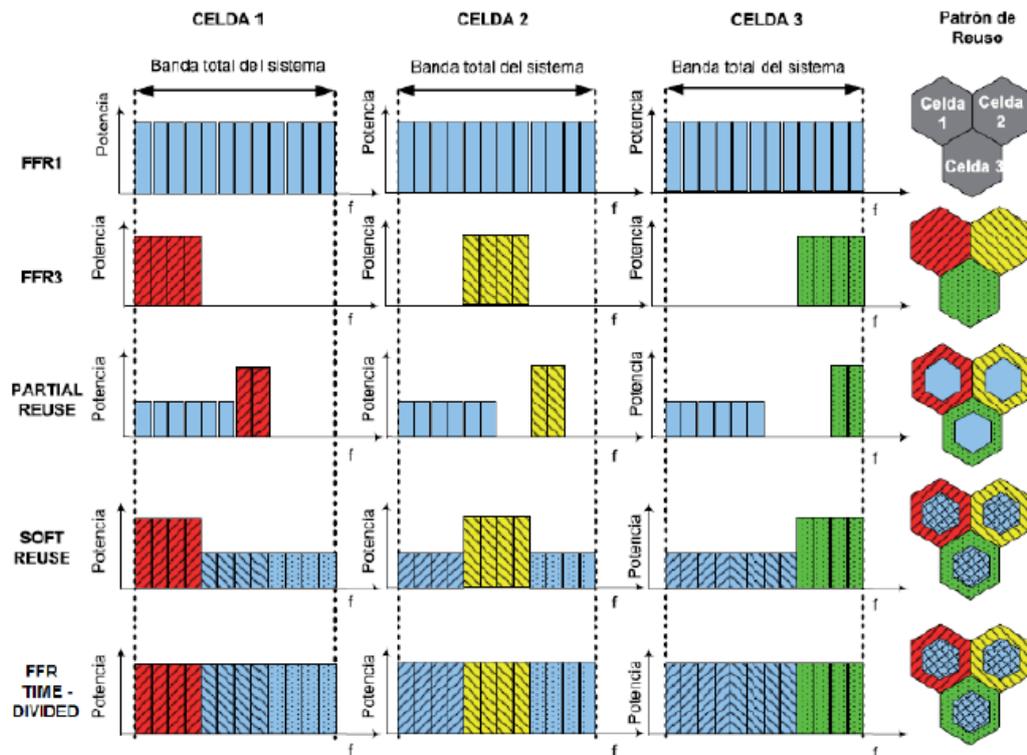
- Disminución de la SINR por PRB, ya que aumenta la interferencia. para paliar este efecto es necesario seleccionar esquemas de modulación y codificación de mayor protección y de baja eficiencia espectral, reduciéndose así la cantidad de bits que se puede enviar por PRB.
- Aumenta el consumo de potencia en el terminal, con lo que se consuma la batería más rápidamente. esto es debido a que la potencia de transmisión en el enlace ascendente aumenta para asegurar una recepción adecuada.
- Aumenta la carga de señalización debido a que son necesarios más retransmisiones híbridas (HARQ) para la entrega favorable de paquetes. esto hace que las capacidades de la celda se reduzcan.

La tecnología LTE persiste en obtener altas velocidades de pico y eficiencia espectral y su despliegue se hace con un reuso universal de frecuencia, donde todos los PRBs están disponibles en todos los eNB, maximizando así la capacidad potencial por celda. sin embargo, con este despliegue la interferencia inter celular podría llegar a ser muy elevada especialmente entre celdas adyacentes y para usuarios alejados del eNB ante esta situación LTE define una función de gestión de recurso de radio denominado InterCell Interference Coordination (ICIC) cuya misión es decidir un conjunto de restricciones y preferencias sobre el uso y las potencias de transmisión por PRB para cada eNB.

Existen dos formas de realizar la gestión, la primera es a través de una coordinación dinámica en la que es necesario que los eNBs interactúen entre sí, intercambiando indicadores de interferencia a través de la interfaz X2, lo que sin embargo se traduciría en un incremento de los mensajes de señalización que han de cursar por la red. La segunda es a través de una gestión estática en donde a cada eNB se le asigna la etapa de despliegue y planificación de la red las restricciones y preferencias de transmisión asociadas principalmente al establecimiento de factores de reuso de frecuencias, y que cuya implementación no implica ningún tipo de aumento de carga de la red por señalización. En la figura se puede mostrar los posibles esquemas de reuso de frecuencias. En primer lugar, se ilustra el fractional Frequency Reuse1 (FFR1), donde todos los PRBs están disponibles para todas las celdas. Posteriormente se observa el caso de reuso 3 (FFR3) están divididos en tres grupos y cada uno es asignado una celda dentro de un grupo de 3 celdas, este esquema a pesar de que reduce notablemente las interferencias, implica una reducción drástica de las capacidades de cada celda y podría no garantizar la calidad de servicio de las conexiones establecidas en términos de velocidades de pico y rendimiento obtenido por los usuarios. Seguidamente se muestra la estrategia Reuso parcial, que resulta de combinar las primeras dos estrategias, en donde todas las celdas utilizan la misma fracción de la banda en el centro de la celda, pero en el bloque cada una emplea una fracción de la banda distinta con una potencia distinta con una potencia superior. después se ilustra la estrategia Soft Reuse que es similar a la de Partial Reuse con la variante de que se hace reuso de toda la banda en el centro de la celda y al igual que en el caso anterior, para los usuarios en el borde de la celda, cada celda utiliza una fracción de banda distinta con una potencia superior. finalmente se muestra la estrategia FFR Time Divided, que es similar al concepto de Soft Reuse, pero en él se busca la disminución de interferencias solamente utilizando una fracción de banda

distinta en intervalos de tiempo distintos, pero no utiliza un nivel de potencia superior al del centro de celda.

Figura 2.3.2 Posibles esquemas de reuso de frecuencia en LTE



Fuente: (del Horno Torres, 2016)

2.3.1.4 Redes Heterogéneas

Las redes de acceso de radio a menudo contienen diferentes capas de células, como macro células, micro células y pico células. Un operador de red puede minimizar la interferencia entre estas capas desplegándolas en diferentes frecuencias de operador. Sin embargo, esta técnica no siempre es factible ya que el operador puede no tener suficientes frecuencias disponibles, y no hace el uso más eficiente del ancho de banda total del operador. Como alternativa, un operador de red puede desplegar diferentes capas en la misma frecuencia de portadora, para que ocupen la misma banda de frecuencia. Dicha red se conoce como red heterogénea o HetNet. (Cox, 2014, pág. 324) Gracias a esta técnica un operador puede cubrir la demanda de sus usuarios ya que cada día aumenta

la cantidad de subscriptores y en este caso de la tesis también se puede aplicar en zonas con problemas sociales donde no se permite la instalación de macro celdas por ser visibles y prejuicioso entre los residentes de la zona y su falta de conocimiento de cómo funcionan las redes móviles.

Entonces HetNet introduce el concepto de infraestructura de micro celdas dentro de ellos esta una variedad de términos (Micro, Pico y Femto) que serán temas de estudio e implementación para las siguientes tecnologías móviles capaces de administrar sin ningún problema.

Por otro lado, la introducción de micro celdas en las redes implicara un rápido incremento en el número de puntos de acceso, paralo cual los operadores tendrán que implementar un tipo de troncal (BACKHAUL) capaz de soportar todo el tráfico generado por las Micro celdas.

Una densificación uniforme de la capa de macro células, que reduce el área de cobertura de cada celda y aumenta el número total de sitios de macro celdas como se ilustra en la parte superior de la Figura 2.3.1.4.1, es un camino que ya han tomado muchos operadores. Como ejemplo, en muchas ciudades importantes, la distancia entre los sitios de macro células es inferior a unos cientos de metros en muchos casos.

Figura 2.3.3 Densificación con Macro celdas adicionales (desplazamiento homogéneo)



Fuente (Dahlman, Parkvall, & Skold, 2014, pág. 387)

Una alternativa o complemento a una densificación uniforme de la capa macro es implementar nodos adicionales de menor potencia bajo el área de cobertura de la capa macro, como se ilustra en la parte inferior de la Figura 2.3.1.4.2

Figura 2.3.4 Densificación complementario con nodos de baja potencia (desplazamiento Heterogéneo)



Fuente: (Dahlman, Parkvall, & Skold, 2014, pág. 387)

2.3.1.5 *Micro Celdas*

Micro celda es un término universal mediante el cual se denomina a los nodos de baja potencia que forman parte de la red de radio acceso en un sistema de comunicación móvil, las mismas que operan en bandas de frecuencias licenciadas y no licenciadas y que tienen un alcance menor a las macro celdas, el término Small Cell abarca a Micro Celda, Pico Celda y Femto Celda.

Las micro celdas son elementos de radio acceso que permiten una mejor cobertura celular y capacidad ya que proporcionan una mejor calidad de servicio en lugares específicos como podrían ser: estadios, centros comerciales, zonas residenciales y como también en zonas de conflicto donde se evitan la instalación de macro celdas.

Tabla 2.3.1 Categorías de Micro Celdas

Categorías	Femto celdas	Pico celdas	Micro celdas	Macro celdas
Potencia de transmisión	1mW-250mW	250mW-1W	1-10W	10-50W
Radio de cobertura	10-100 metros	100-200metros	0.2-2 km	8-30 km
Número de usuarios	1 - 30	30 - 100	100 - 2000	Mas de 2000

Backhaul	DSL, Cable Fibra	Microondas, Fibra	Microondas, Fibra	Microondas, Fibra
Ubicación	Interiores	Interiores/ Exteriores	Interiores/ Exteriores	Exteriores
MIMO	2x2	2x2	4x4	4x4
Soporte (DAS) Sistema de antenas Distribuidas	NO	SI	SI	SI

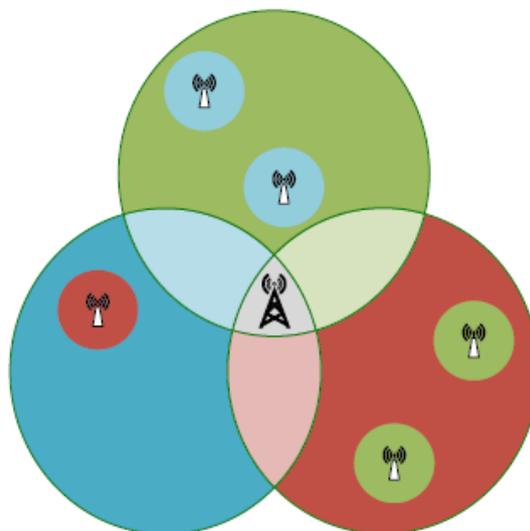
Fuente: (Morales Álvarez, 2015)

2.3.1.6 *Esquemas de Reuso de Frecuencias con Small Cell*

El esquema de reuso de Frecuencia (FRS) es la principal herramienta usado en redes para cancelación y anulación de interferencias. La interferencia puede tener un efecto devastador en el enlace de usuario, destruyendo la señal debido a la colisión de otros enlaces BS.

La ubicación del problema de las Small Cell en esta tesis es relativa al área pequeña de un grupo específico. Las micro celdas son por definición un problema de área pequeña, donde un alto nivel de conocimiento acerca de la morfología local y distribución es requerida. En la figura 2.3.1.6. 1 el esquema es ilustrado y esto es posible observar la primera cancelación de superposición. cuando en algunos casos, las celdas vecinas también se superponen, esta interferencia también es cancelada por el reuso de frecuencia si el planeamiento de los sectores este hecho apropiadamente.

Figura 2.3.5 Vista General de una macro celda con desplazamiento de micro celdas



Fuente (Alves Pereira, 2013)

Figura 2.3.6 Espectro dividido equivalente en tres grupos



Fuente (Alves Pereira, 2013)

2.3.1.7 Integración de las Small Cells a la RED LTE

La comunicación de una Small Cell y el núcleo de la red LTE, se puede realizar mediante un Small Cell Gateway, o prescindiendo de él. Para ambos casos, este enlace está asegurado por una función necesaria denominada Security Gateway (SEGW) que es una entidad lógica que puede ser implementada ya sea por un elemento físico o co-ubicada con una entidad de arquitectura de red existente.

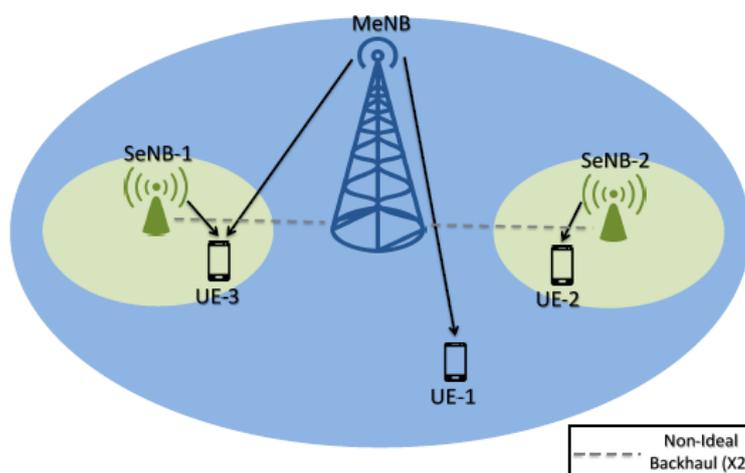
2.3.1.8 Conectividad Dual.

La nueva solución de conectividad para los UEs es el DC, donde el UE tiene control y plan de usuario conectado simultáneamente a MeNB y SeNB. Para beneficiarse de la Conectividad Dual, un UE necesita tener bastantes protocolos separados (RLC y

MAC), una para el Master eNB (MeNB) y la otra para Secundario eNB (SeNB). además de eso, el UE debe estar equipado con radios duales con receptor (RX) y transmisor (RX), lo que le permite estar completamente conectados a MeNB y SeNB.

Esta solución permite una agregación del plano de usuario, donde un solo UE puede recibir un flujo sobre múltiples RAT o diferentes flujos en diferentes RAT.

Figura 2.3.7 Escenario de Conectividad Dual compuesto por un MeNB y dos SeNBs



Fuente: (“Study on small cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN, 2013)

Como se muestra en la figura donde UE-1 y UE-2 están en conexión simple con la MeNB y SeNB2, mientras UE-3 está en conectividad Dual con la SeNB1 y MeNB

2.3.1.9 Integración con la Arquitectura de un eNB:

Basándose en la arquitectura del eNB, las micro celdas pueden ser integrados de la misma manera que una macro celda. En este caso las micro celdas usan la interfaz S1 para establecer comunicación con el núcleo de la red y mientras por la interfaz X2 logran comunicarse con otras celdas, ya sean macro celdas o micro celdas. Otra forma es mediante la integración independiente mediante un Small Cell Gateway, basándose en una arquitectura de un HeNB, donde incorpora un elemento a la red llamado Small Cell Gateway, que es la puerta de enlace entre la Small Cell y el núcleo de la red

2.3.1.10 Backhaul.

Entre los desafíos asociados con la implementación de una red heterogénea con micro celdas es la necesidad de manejar la accesibilidad al backhaul. una vez el tráfico alcanza una estación base para ser ruteado hacia el núcleo de la red e intercambiar a través de la red. el enlace entre la micro celda y el núcleo de red es luego establecido usando el backhaul. El uso del tradicional enlace de microondas es limitado debido al ambiente en el cual las micro celdas estarán desplegadas, algunos de las opciones usados para la red de acceso para la micro celda son revisados a continuación, están agrupados dentro de cableado de alto nivel y la solución inalámbrica.

- **Transporte cableado:**

FTTx, or fibra para "x", puede ser usado en áreas densamente pobladas donde hay una alta penetración de solución de fibra, Basado en la presencia de la red de fibra, un operador puede hacer una decisión entre usar su propia red o alquilar el Backhaul de un tercero. sin embargo, el desafío para obtener la fibra para la ubicación de la micro celda, así como un poste, aún quedan, como el costo corre por la distancia corto de fibra, el cual puede ser significativo.

- **Transporte inalámbrico**

Hay diferentes tipos de soluciones inalámbricas que pueden ser usados dependiendo de la factibilidad de desplazamiento, cada uno tiene potenciales beneficios y desventajas.

Microondas:

Donde sea el (LOS) es posible, relativamente tiene alta capacidad, un desafío para usar en áreas céntricas.

Topología P2P, P2MP & Multi-Hop

Multi-Hop es una pequeña celda POP que pasa sobre múltiples enlaces, Problemas de latencia para las celdas dependiendo del número de saltos.

Non/Near LOS- 6GHz

Ofrece mejores soluciones en ambientes urbanos altamente densos con edificios altos, La alineación de antenas no será necesario de este modo implica la instalación, la capacidad es relativamente limitado, Es licenciada o no licenciada.

Satélite

trabaja mejor en lugares alejados donde el acceso local no está disponible La banda E licenciada - 80GHz/No licenciada 60GHz, Solo escenario de LOS, pero robusto a interferencias debido a la absorción de oxígeno, disponibilidad de gran ancho de banda, habilitado para una capacidad muy alta.

Tabla 2.3.2 Solución típica de Backhaul Inalámbrica

Tipo de Solución	Topología	Tipo	Capacidad Típica
Sub 6GHz	P2P, P2MP, Mesh	LOS, nLOS or NLOS	200Mbps
Microondas 6-50GHz	P2P, P2MP	LOS	1-2 Gbps
Banda-E	P2P	LOS	Multi Gbps
Satélite	P2MP	LOS	1Gbps

Fuente Teleworld Solution

2.4 ANTENAS USADAS PARA EL DISEÑO

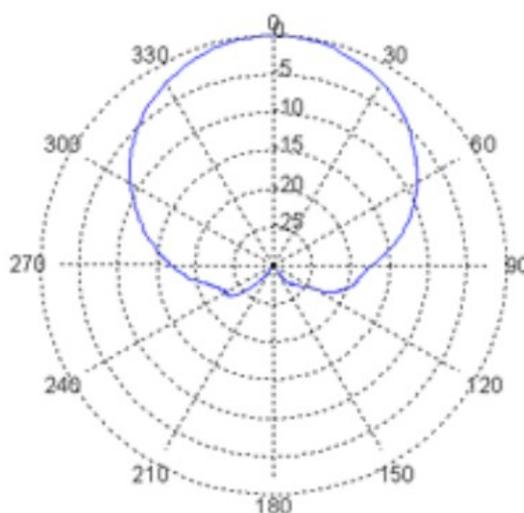
La antena es el dispositivo físico que sirve de interfaz entre las ondas electromagnéticas guiadas por el cable o la guía-onda y el espacio libre o el aire. En esta investigación se tratará y se trabajara con antenas direccionales también con antenas

sectoriales y omnidireccionales las cuales nos ayudaran a realizar el diseño de esta mejoría de cobertura que se quiere lograr a través de este proyecto.

Las antenas direccionales tienen una radiación directa dirigida hacia otra antena, es decir que estas emiten la cobertura directa de una a otra antena y este tipo de configuración se le llama enlaces punto a punto ya que no emite una radiación alrededor de la antena sino a una sola dirección y esta se dirige hacia otra antena para así enlazar una comunicación.

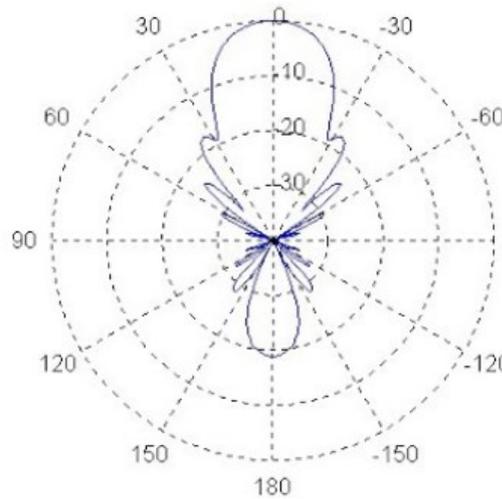
Las antenas sectoriales a diferencia de la anterior tienen una configuración de enlace punto multipunto (P2MP). Estas antenas son muy adecuadas para servir o generar una cobertura de áreas grandes con una densidad alta de conexión. Una antena sectorial te permite abarcar un mayor rango de cobertura notablemente que las antenas direcciones, también permiten aislar áreas con as alto niveles de ruido RF Dichas antenas tienen aproximadamente 30° a 120° de radiación, y esto se puede mostrar en las figuras siguientes

Figura 2.4.1 Radiación de una antena sectorial



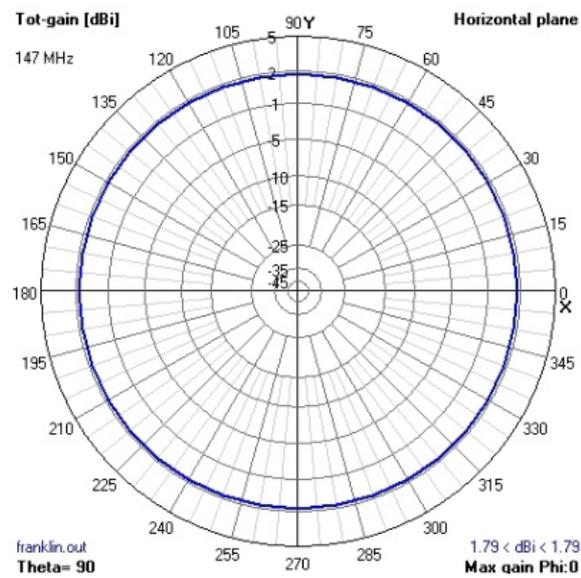
Fuente: (Balanis, 2016)

Figura 2.4.2 Radiación de una antena direccional

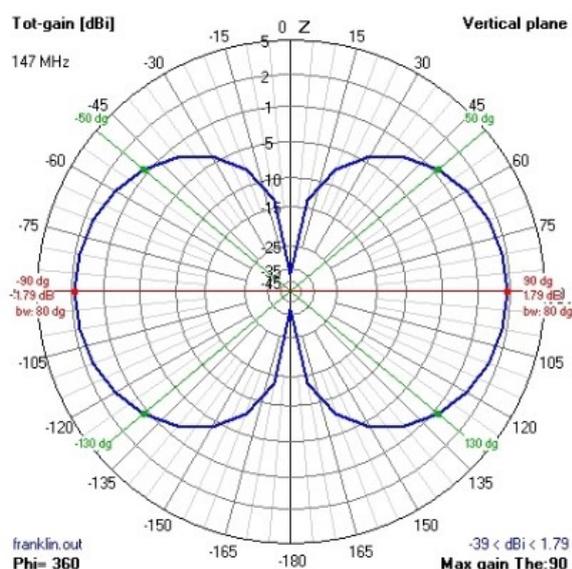


Fuente: (Balanis, 2016)

Figura 2.4.3 Radiación de una antena Omnidireccional



Fuente: <https://prezi.com/jhglt8u49vl/antenas-diagrama-de-radiacion/>

Figura 2.4.4 Radiación de antena omnidireccional

Fuente: <https://prezi.com/jhglt8u49vl/antenas-diagrama-de-radiacion/>

2.5 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Los reclamos más recientes presentados a OSIPTEL a cerca de la cobertura del servicio de telefonía móvil están documentados en la página web de este organismo supervisor, de esta forma se especifica en el ANEXO 1. Cuando se tomaron datos documentados de la oficina de OSIPTEL de la región Puno indicaron que la verificación de la cobertura está cargo de cada operador, OSIPTEL solo se encarga de los procesos de reclamos de nivel 2 o mayores, también el organismo supervisor indicó que la información de las estaciones base de cada operador son completamente confidenciales y nada es público excepto la información disponible en la web.

Se encontraron investigaciones que pueden ser de ayuda. Estos antecedentes ayudarán a tener opciones al desarrollar el proyecto y estos serán mencionadas a continuación.

En el trabajo de investigación de (Alves Pereira, 2013) **Small Cell Deployment Evaluation on LTE** (Tesis de Postgrado) Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal llega a la siguiente conclusión: La conclusión principal que se extrae de todos los resultados es que la implementación de las micro celdas tienen un gran impacto en la capacidad general de la red, como ya se esperaba como un punto de partida. La capacidad de mejora de la potencia de las micro celdas se ha demostrado en todos los resultados de las simulaciones, comparando el despliegue de micro celdas en diferentes sistemas. Se puede argumentar sobre la cantidad de esta mejora y se deben hacer enfoques menos subjetivos para concluir en esto. Sin embargo, la posible discusión de que esta capacidad valga la pena de una inversión escalable nunca fue el foco de esta tesis, y es una dirección razonable del trabajo futuro para esta tesis. Comparando ambos escenarios, las micro celdas sin duda, y sin ninguna sorpresa, resultan ser mucho más útiles cuando un grupo grande de usuarios se concentra en una región específica. Varios ejemplos representan situaciones como conciertos o conferencias, y eso es exactamente lo que se hace para el segundo escenario. Mientras que, en el primer escenario, 20 micro celdas solo permiten un aumento promedio de 20 usuarios, el segundo escenario 20 micro celdas permite una mejora de 125 en usuarios satisfechos promediados. Los operadores normalmente usan BSs de macro celda para otorgar capacidad extra en eventos de área grande, pero, aun así, esta estación de macro celda contribuye con menos recursos que el uso de varias celdas pequeñas y más interferencias gracias a la superposición con la capa de macro celda instalada anteriormente. Ese es el segundo esquema principal elaborado en todos los resultados, lo que significa que las células pequeñas no son destructivas, como se podría pensar en términos de interferencia. Sobre todo, debido a su menor potencia y rango, un usuario que se encuentra realmente en un rango de interferencia destructiva de una celda pequeña, será atendido principalmente por él. Los únicos resultados que realmente

muestran algunos efectos degradantes gracias a las celdas pequeñas son los del segundo escenario de referencia, la carga diaria del evento, cuando el índice de satisfacción promedio obtenido, se degrada aproximadamente un 3% con cada inserción de 10 celdas pequeñas. Teniendo en cuenta el caso en el que la mayoría de las células pequeñas están sobrecargadas y el esquema más vulnerable a las interferencias, una caída de satisfacción del 3% en comparación con un incremento de aproximadamente 50 usuarios satisfechos es insignificante y no implica un efecto degradante real de las células pequeñas, lo que indica precisamente lo contrario. Aún con respecto a la interferencia, la parte considerada de la red ya descrita no mostró en realidad muchas desventajas causadas por la interferencia, cuando solo se realizaron simulaciones de macro celda. Esto se debe a que la red se basa en una red realista del operador portugués Optimus, que se planificó correctamente y se configuró en el simulador con rigor, definiendo cada sector de BS y azimut ampliamente. Se puede concluir de inmediato que la planificación adecuada es la mejor herramienta de cancelación de interferencias.

El siguiente trabajo de investigación de (Morales Álvarez, 2015) **Estudio Técnico y Análisis del Desempeño de Small Cells para solventar Problemas de Capacidad, Cobertura y Calidad dentro de una Red de Telefonía Móvil 4G LTE** (Tesis de Pregrado) Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador llegó a las siguientes conclusiones:

Pese a que, en la actualidad, están desplegadas un gran número de redes 3G, cada vez es mayor el número de redes LTE que se van implementando, debido, en parte, al gran incremento del tráfico de banda ancha móvil. LTE es un proyecto reciente de 3GPP, diseñado para brindar mayor velocidad de datos, baja latencia y alta eficiencia espectral en redes móviles de nueva generación. Aprovechando las ventajas de OFDMA. LTE puede proporcionar, un throughput Downlink de 100Mbps y en Uplink de 50 Mbps

aproximadamente, esta tecnología podría reemplazar a la GSM y WCDMA en zonas de alta demanda de tráfico, como lugares públicos, empresas o aeropuertos. A pesar de que LTE soporta altas tasas de transferencia de datos, al igual que otras tecnologías, incidir con bajos niveles de cobertura en ciertas áreas cerradas, y congestionarse al punto de perder capacidad, en áreas de alta demanda.

Las Small Cells, son estaciones base de baja potencia que utilizan espectro licenciado, y por lo general se implementan en zonas residenciales, empresariales, espacios públicos, y metropolitanos, o en entornos rurales. Además, proporcionan una excelente experiencia de usuario, brindando una mayor capacidad, cobertura y calidad, tanto para el servicio de voz, como para aplicaciones de datos móviles en cualquier tecnología, y de manera eficaz con LTE.

Se concluye que el mayor campo de aplicación de las Small Cells , está en las zonas urbanas, metropolitanas y de alto tráfico, donde luego de haber realizado trabajos de optimización y densificación de red, se puede conseguir una buena capacidad, cobertura y calidad de servicio , al implementarlas, en zonas sub urbanas es a menudo suficiente con la optimización y la densificación de la red, mientras que en zonas rurales de baja demanda de tráfico, generalmente se puede alcanzar las condiciones de eficiencia , solo con efectuar la optimización de la red macro.

Durante el proceso de encontrar los puntos geográficos ideales para la implementación de Small Cells, es necesario valerse de herramientas informáticos que permitan determinar, tanto las áreas con mayor densidad de usuarios, o específicamente mayor demanda de tráfico, como las áreas que presenten condiciones de radio degradadas. condensando esta información sobre un mismo mapa, se puede llegar a determinar gráficamente, las áreas propicias para el despliegue. en este proyecto se destaca la

importancia de la herramienta Mentum Planet, para cumplir eficazmente con este proceso de búsqueda, al permitir evaluar completamente los escenarios y analizar los resultados. en este sentido, se puede tomar decisiones estratégicas para el despliegue de Small Cells , en base a las capacidades de Mentum Planet que fueron estudiadas. un despliegue exitoso de Small Cells, también depende de la inversión en lugares adecuados, en el momento adecuado, si se aprovecha de un operador, estará en la capacidad de evaluar escenarios, para el óptimo despliegue de Small Cells.

El siguiente trabajo de investigación de (Vaca Silva, 2015) **Evaluación de la Tecnología Small Cells en una Red de última generación 3G/LTE** (Tesis de Pregrado) Universidad San Francisco de Quito, Ecuador Resalta las siguientes conclusiones:

Al finalizar la implementación y pruebas de la Small Cell se puede empezar concluyendo que se vio que el operador efectivamente tenía problemas en la capacidad de transferencia en el sitio en el que se trabajó. Se puede decir que esta falla es algo común y algo que se encuentra en el día a día, para lo cual se busca fomentar además de innovación un cambio que mejore la experiencia final del usuario además de la calidad de servicio, por esto se presenta una solución como la Small Cell.

Se concluye también que se analizó un contexto general de las Small Cells para poder entender los beneficios de la instalación de una Small Cell además de los desafíos que se puede tener al implantar un equipo como estos.

También se puede concluir que se elaboró de manera exitosa la guía de procedimiento de implementación para la Small Cell, en la que se explicó de manera detallada y clara el procedimiento adecuado de instalación además de la manera de medición correcta para poder trabajar con la Small Cell.

Se concluye que al momento de realizar la instalación es de gran ayuda tener una guía para poder realizar el proceso adecuadamente. Por esto es importante cada etapa de las que se presentó además de trabajar con los Data Sheets, ya que al seguir las mismas como se indica y al realizar cada paso se llega a tener una instalación sin errores.

Para finalizar se concluye que el impacto del proyecto es excelente ya que es un proyecto práctico y de aplicación inmediata, además se concluye que a pesar de que las pruebas se realizaron completamente en Guayaquil el alcance es grande ya que el proyecto es aplicable totalmente dentro del nuestro país.

Otro Trabajo de investigación de (del Horno Torres, 2016) **Estudio de la Estrategia de Coordinación de Interferencias Entre Celdas (ICIC) en LTE** (Tesis de Pregrado) Universidad Politécnica de Catalunya, España llegó a las siguientes conclusiones:

Actualmente, la tecnología LTE está implantada en gran parte del territorio español y cada día son más los usuarios que acceden a la red a través de esta tecnología, debido en gran medida a la promoción del LTE por parte de las operadoras y sus ventajas en términos de calidad del servicio. Por este motivo es importante que estas redes se optimicen al máximo posible de manera que puedan mejorar su servicio y ahorrar el máximo de recursos tanto de espectro frecuencial como de energía.

Con el objetivo final de optimizar las redes LTE con las funciones que esta tecnología tiene disponibles, el presente proyecto investiga de forma teórica y a través de simulaciones una característica propia de los sistemas de comunicaciones móviles basados en OFDMA, la estrategia de coordinación de interferencia entre celdas (ICIC). De esta manera, se evalúa y compara el efecto de esta estrategia en diferentes escenarios.

En la primera fase del proyecto, se plantea el despliegue y planificación de tres redes LTE en diferentes escenarios, basándose en el despliegue actual de LTE de un operador en las ciudades de Barcelona y Gerona y en la isla de Ibiza. Estas tres zonas se han escogido debido a la diferencia de características que hay entre ellas, así se trabaja con una zona llana con una densidad de usuarios muy alta, una zona mayormente llana una densidad de usuarios media y una zona parcialmente montañosa con costa y densidad de usuarios baja.

En la segunda fase, se realiza un estudio exhaustivo del efecto de la estrategia ICIC en el escenario de Ibiza para analizar de qué manera afecta la estrategia a una de las redes y determinar si existe mejora o no en los resultados de los estudios y los motivos que llevan a esos resultados. De esta fase se extraen varias conclusiones, de forma global los resultados reaccionan de manera diferente según el parámetro que se evalúe, en el caso de la señal a interferente, las estrategias ICIC proporcionan una mejora en gran parte del territorio al que se da servicio, sobre todo en las zonas montañosas, donde las celdas abarcan más área y el espacio considerado como borde de celda es superior. Sin embargo, las tasas de bits o throughputs no llegan a corresponder en todo el territorio con esta subida de la señal a interferente, esto es debido a que no se llega a variar la selección de bearers en algunas zonas y, sin cambio de bearer no hay mejora del throughput. De esta manera, existen algunas zonas donde se observan resultados positivos, pero no es en la totalidad del territorio, esto es debido a que la interferencia entre celdas no afecta de manera homogénea a todas las zonas, por tanto, para optimizar la red y hacer un uso correcto de la coordinación de interferencia entre celdas solo se debería aplicar la estrategia a las zonas más afectadas por la interferencia entre celdas.

En la última fase, se comparan los resultados de aplicar la estrategia ICIC en los tres escenarios estudiados. Para ello se comparan los estudios de señal a interferente de

cada zona, ya que es el estudio donde se observa mayor efecto de la ICIC. Los escenarios donde las estrategias ICIC actúan con mayor eficacia son escenarios donde los recursos están al límite, ya sea por una gran densidad de usuarios como ocurre en la zona de Barcelona, o porque los recursos están limitados o tienen que abarcar mucha área en ciertas zonas, como es el caso de la zona de Ibiza debido a que los usuarios están muy segregados. En cambio, en la zona de Gerona, donde la densidad de usuarios es aceptable y se encuentran concentrados en una sola zona, que además es llana haciendo que la planificación sea más efectiva, se observa que las estrategias ICIC no logran aplicar ninguna mejoría en la red, de hecho, provocan una notable bajada de la señal a interferente en gran parte de la zona, de forma que no se deberían aplicar estrategias ICIC en este tipo de escenarios. Además, se pudo concluir que las características físicas del terreno pueden influir de forma notable en el efecto de la estrategia ICIC, ya que se ha observado que en zonas irregulares como zonas montañosas en todos los casos la estrategia ICIC ha mejorado el nivel de la señal.

Otra fuente de referencia es el siguiente trabajo de (Arévalo Pinzón, 2014)

Propuesta de Diseño de la Red de Acceso LTE para datos en la Ciudad de Paris (Tesis Pregrado) Universidad Santo Tomas, Ecuador, llegando a las siguientes conclusiones:

Debido al constante crecimiento de abonados a la telefonía móvil Celular y la gran importancia que este tipo de redes tienen sobre la población mundial, es muy importante contar con redes capaces de brindar correctamente el servicio ofrecido por los diferentes operadores. Por lo tanto, es indispensable de un adecuado estudio de la necesidad de la población en los diferentes lugares en los que se brindará cobertura, sin dejar de tener presente aquellos parámetros que por condiciones físicas o reglamentarias no puede ser modificado por el diseñador de la red, cabe resaltar que tras la constante evolución que

ha presentado la red de TMC, ha permitido que los operadores generen brechas cada vez menores entre las diferentes tecnologías, gracias a la reutilización de recursos de red tal y como sucedió entre la migración de 3G - 3.5G, y sucederá entre 4G LTE - LTE Advance.

Para la realización del diseño RAN presentado en este trabajo es indispensable tener presente que parámetros tales como banda de frecuencia, ancho de banda, perfil del terreno y la ubicación de los diferentes eNodeB, a pesar de parecer parámetros variables, se encuentran limitados por diferentes aspectos que van desde lo regulatorio (banda de frecuencia y ancho de banda), lo morfológico (perfil del terreno) y permisos de terceros (ubicación de los diferentes eNodeB); sin embargo, existen otros parámetros esenciales para el diseño de red que se pueden considerar como variables o no, dependiendo de la situación en la que se encuentre la red, para el caso presentado en este proyecto de grado, los parámetros variables se encuentran delimitados por la necesidad planteada por ATDI en el concurso “Mejor Planeación de Radio LTE.

Teniendo presente lo anteriormente mencionado, el diseño de la red de acceso para la tecnología LTE, permite al diseñador variar diferentes parámetros que le permitan según el caso obtener un resultado específico, en donde la cantidad de usuarios y la demanda del servicio juegan el papel primordial en la modificación de dichos parámetros.

A diferencia de las redes convencionales LTE que se encuentran en los diferentes países que ya adaptaron esta tecnología, esta, está diseñada en un 60% con Small Cells disminuyendo costos de inversión por parte del operador, tanto en equipos, como en infraestructura o arriendo de torre. Además, la utilización de estas, evita inconvenientes de ubicación, ya que pueden ser implementadas en postes, paraderos de buses, ambientes indoor, etc. Generando así una propuesta viable que da solución a la problemática

propuesta por ATDI, en donde se busca subsanar un inconveniente real de comunicación en un ambiente cartográficamente complicado, como sucede en la ciudad de Paris, implementando una red en donde predomina el uso de Micro Cells.

Es importante resaltar que en este momento ningún operador a nivel mundial cuenta con una red en el que predomine las Micro Cells, ya que este concepto se tiene principalmente para coberturas indoor, pero aún se está trabajando y optimizando por los diferentes fabricantes, para así generar una optimización en los costos de operación, producción y mantenimiento. Por lo anterior, Paris no es la excepción, y con el fin de dar solución a los problemas de cobertura esta implementación es de gran ayuda por las características del terreno natural y construido evidenciado en el presente proyecto.

De igual forma, resulta de suma importancia para la realización de la propuesta de diseño final, el hardware a utilizar en los diferentes eNodeB, ya que, en el momento de la implementación de la propuesta, se debe tener presente que se cuente con los elementos dentro del mercado, capaces de dar solución a la problemática planteada.

Otra referencia encontrada donde se menciona la evolución de las tecnologías inalámbricas de (Calderón Vilca, 2011) **Análisis y Prestaciones entre LTE y WIMAX** (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional del Altiplano, Perú, llegando a las conclusiones:

La oferta de soluciones inalámbricas para enlaces en exteriores ha mejorado notablemente en los últimos años tanto en gama de productos como en precios. Está por verse si WIMAX puede realmente acorralar el mercado convertirse en la solución preferida, o si va a correr la misma suerte del ATM, una solución técnicamente impecable pero que no pudo competir en precio con Ethernet. El equivalente de Ethernet en este

caso es Wifi, que con las enmiendas e y n al estándar 802.11 compite en ciertas prestaciones con WIMAX manteniendo un precio más bajo.

Estamos en definitiva entre dos formas distintas, LTE y WIMAX, de intentar de alcanzar una misma meta; compatibilizar los objetivos de alta tasa binaria y latencia reducida con una complejidad y coste de los terminales razonables y una experiencia de usuario satisfactoria. En LTE se ha tomado la decisión de sacrificar en parte las posibles prestaciones del sistema con el uso de SC-FDMA para hacerlo viable comercialmente a más corto plazo. En el caso de WIMAX se ha apostado por definir un estándar que optimice las prestaciones, con la esperanza de que la tecnología evolucionara lo suficientemente deprisa como para resolver las necesidades del usuario final”. La red de transporte a través de Fibra óptica tiene proyectado soportar todo el tráfico de datos que requiere la nueva tecnología a través de la red dorsal para el procesamiento de la información, así como actualmente ya uno de los operadores está haciendo uso del par de hilos de la fibra óptica y la calidad de servicio que ofrece es óptimo y no presenta ningún inconveniente.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Hardware.

- Ordenador para programación (Laptop).
- Modelo HP 250.
- Procesador: Intel(R) Core (TM) i7-2430 2.40GHz.
- Memoria instalada (RAM): 8.00GB de RAM.
- Tipo de sistema: Sistema Operativo de 64 bits Windows 10.
- UE Sony Xperia XZ multibanda soporte de la tecnología 4G LTE.

3.1.2 Software.

- Sistema Operativo de 64 bits Windows 10.
- AirLink – Software libre online sobre planificador de enlaces inalámbricos.
- Google Earth.
- Microsoft Word 2013 profesional.
- G-NetTrack Lite.
- Network Cell Info Lite.
- TeVeo (aplicativo de Osiptel para medir la velocidad de descarga y subida de cualquier red Móvil o fija, comparación de cobertura de las operadoras locales).

3.2 DISEÑO, NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 Diseño de la Investigación.

El objetivo de la investigación descriptiva consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. La investigación se puede llevar a cabo en el laboratorio de cómputo. Estos generalmente involucran un número relativamente pequeño de personas.

Esta investigación es exploratoria ya que se utilizará la simulación a través de software como también información teórica para el desarrollo de dicha investigación. La investigación se puede llevar a cabo en el laboratorio de cómputo. Estos generalmente involucran un número relativamente pequeño de personas. La investigación descriptiva no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen la(s) variable(s).

3.2.2 Nivel de Investigación

El nivel de investigación consiste en la profundidad del conocimiento que se logra encontrar con la investigación que se está realizando, por tanto, el nivel de la investigación presente es exploratoria, teniendo en cuenta que las investigaciones exploratorias buscan abrir nuevos caminos con el objetivo de desarrollar el conocimiento humano. La presente investigación busca mejorar a través de un diseño a base de ingeniería y buscar un camino para el diseño de una red 4G LTE avanzada mejorando la densificación mediante despliegue heterogéneo de celular para la ciudad de Juliaca.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 Población

Siendo la población un contexto o lugar donde se analizará y se realiza la investigación, también con respecto se basa las conclusiones de una investigación, para esta investigación, es decir para este caso la población es la ciudad de Juliaca. Según datos extraídos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, s.f.) demostramos que mediante aproximaciones con la cantidad de habitantes en el distrito de Juliaca mayores de 19 años son de 192,830 personas actualmente viven en la ciudad de Juliaca.

3.3.2 Muestra.

Puesto que el diseño que se plantea se puede implementar por áreas según la cobertura de una macro celda, se tomara como muestra para la aplicación de la investigación la zona comercial y residencial (Rinconada y Centro comercial de Juliaca) por ser esta una zona de alto tráfico por la cantidad de flujo de datos.

3.4 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1 Ubicación.

La investigación como también las pruebas se desarrollará en el laboratorio de Telecomunicaciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional del Altiplano.

3.4.2 Descripción de la Investigación.

En la presente investigación se pretende diseñar un despliegue heterogéneo de la red 4G LTE en la ciudad de Juliaca todo esto realizado en el laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Nacional del Altiplano, esta investigación consta de cuatro etapas que se describen a continuación.

1ª etapa: En esta etapa trata esencialmente búsqueda de información, consulta bibliográfica y sitios web, sobre plataformas de desarrollo, software(s) para la simulación respectiva, elección de técnicas o métodos de implementación para el diseño.

2ª etapa: Comprende en las pruebas de simulación.

3ª etapa: Ya realizado algunas pruebas de simulación, ya se inicia con diseño de sistemas enlazados necesarios en base de simulación de terreno real.

4ª etapa: Comprende la obtención y el proceso de verificación, que consiste en analizar los resultados, para luego ver el buen funcionamiento y su posterior corrección.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos se refiere a cómo y qué medios se usan para la obtención de la información que será de utilidad para la corroboración de nuestras hipótesis, por lo tanto, resumimos este apartado de la siguiente forma:

Tabla 3.5.1 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Técnicas	Instrumentos
Consultas bibliográficas.	<p>Investigaciones previas presentadas como tesis se utilizaron como antecedentes.</p> <p>Libros acordes a la investigación presentados como revisión de literatura.</p>
Observación de pruebas finales	Capturas a la pantalla, apuntes, simulaciones y fotos.

Elaboración Propia

Se utilizaron aplicaciones para el monitoreo y la verificación de la situación actual de cobertura de la red móvil 4G LTE en Juliaca.

- G-NetTrack Lite:** es un monitor de red inalámbrica y una herramienta de drive test para dispositivos con sistema operativo Android. Permite la supervisión y el registro de los parámetros de la red móvil sin utilizar equipos especializados. Es una herramienta. Puede ser utilizado para obtener una mejor visión de la red para obtener más información sobre las redes inalámbricas. Se puede usar incluso si solo quiere hacer una representación fácil de su ruta recorrida. Usando la aplicación se puede identificar fácilmente problemas de red como:

Mala cobertura - bajo RXLEVEL; bajo rendimiento de datos de enlace ascendente y descendente; la falta de un servidor dominante que provoque

mucho re selecciones de celda y frecuentes interrupciones del servicio - cuando el tiempo de la celda de servicio es corto. (G-NetTrack Lite, s.f.)

- **Network Cell Info Lite:** Es una aplicación Android que nos va a permitir comprobar la cobertura que estamos recibiendo en nuestro dispositivo. Cubre todas las redes celulares incluyendo LTE, HSPA+, HSPA, WCDMA, EDGE, GSM, CDMA, EVDO. Para comprobar la cobertura de red móvil que tenemos en un terminado momento. Si fuera necesario también podríamos usarla durante un periodo de tiempo más largo y así obtener unos datos más precisos. (Network Cell Info Lite, s.f.)
- **TeVeo:** Es un aplicativo que permite que los usuarios de telefonía celular puedan proporcionar información a OSIPTEL sobre la calidad de los servicios que los operadores les proporcionan y también pueden comparar la calidad de su servicio respecto al que brindan otras empresas de redes móviles (Osiptel, s.f.).

Equipos Utilizados:

- Smartphone Sony (multibanda) compatible con la red 4G LTE en el Perú.
- Chip 4G en este caso se monitoreo la red Claro.
- Paquete de datos para usar GPS.

Durante el monitoreo de la red 4G LTE mediante los aplicativos mencionados se tomaron las capturas de pantalla en diferentes puntos y se evidencio que en la ciudad de Juliaca la red 4G LTE no está cubierta al 100% debido a la saturación y ausencia de estaciones base que puedan brindar un servicio de calidad como se describió en la revisión

de literatura, por consiguiente, los datos recopilados se encuentran adjuntados en el Anexo 2.

Primera muestra tomada por el hospital Carlos monje Medrano de Juliaca a escasos metros de la estación Base de Claro. Captura de pantalla del registro de parámetros de red 4G LTE con el App Network Cell Info Lite.

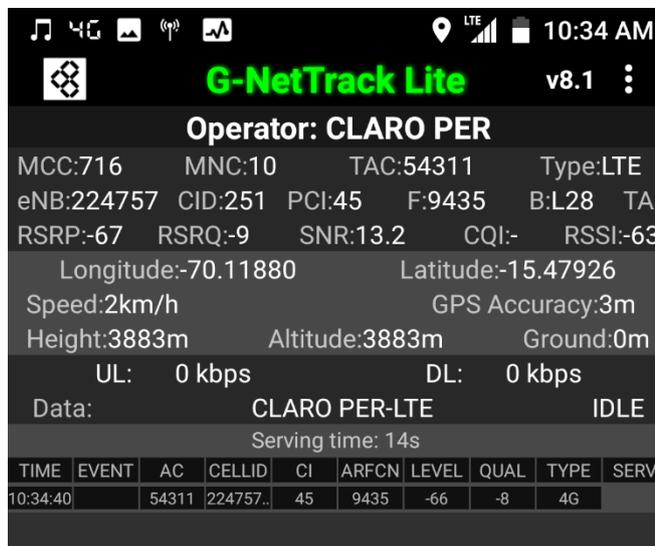
Figura 3.5.1 App Network Cell Info con información de una célula



Elaboración Propia

Captura de pantalla del App G-NetTrack Lite donde muestra los parámetros de la red también muestra las coordenadas y el tipo de red

Figura 3.5.2 Información brindada por App G-NetTrack Lite



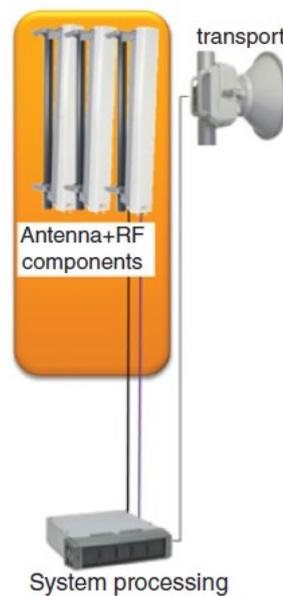
The screenshot shows the G-NetTrack Lite app interface. At the top, it displays the operator name 'CLARO PER' and the version 'v8.1'. Below this, various network parameters are listed, including MCC, MNC, TAC, Type, eNB, CID, PCI, F, B, TA, RSRP, RSRQ, SNR, CQI, and RSSI. It also shows GPS coordinates (Longitude and Latitude), speed, GPS accuracy, height, and altitude. The serving time is 14s. At the bottom, there is a table with columns for TIME, EVENT, AC, CELLID, CI, ARFCN, LEVEL, QUAL, TYPE, and SERV.

TIME	EVENT	AC	CELLID	CI	ARFCN	LEVEL	QUAL	TYPE	SERV
10:34:40		54311	224757..	45	9435	-66	-8	4G	

Elaboración Propia

3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE DISEÑO

La recolección de datos se refiere a cómo y qué medios se usan para la obtención de la información que será de utilidad para la corroboración de nuestras hipótesis, por lo tanto, en este apartado utilizaremos el simulador e información de bibliografía, es así que pone en conocimiento desde el punto de vista funcional las principales funciones en un centro de control ya sea de torres centrales o células. La más reciente solución arquitectónica se basa en un llamado Sistema de Antena Activa (AAS), donde todos los componentes de procesamiento de RF están integrados en el módulo de antena. El AAS está conectado al sistema y módulo de procesamiento a través de fibra óptica, lo que significa que ya no se necesita un cable de alimentación de RF. La integración del procesamiento de RF dentro de cada elemento de antena permite, entre otras ventajas, el control directo de inclinación del patrón de haz de la antena.

Figura 3.6.1 Sistema de antena Activa**Active Antenna based NodeB**

Fuente: The telecommunications handbook engineering guidelines for fixed, Mobile and Satellite Systems (2015) – Pág. 373.

3.7 CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN

Para realizar el diseño de la red de acceso mediante la dimensionamiento con micro celdas es importante los resultados del monitoreo mediante la recolección de datos mediante los aplicativos y como muestra se tiene las capturas de pantalla que nos indican las zonas de la ciudad que están saturadas o con baja cobertura de esta manera se elegirá como referencia ubicar una micro celda así optimizar la zona en beneficio de los usuarios que reportan el mal servicio a de la operadora hacia el Osiptel.

Además, la optimización mediante micro celdas reduce el costo de la implementación ya que no se requieren torres como para las macro celdas si no solamente pequeños espacios en la azotea de un edificio o un mástil de mediana altura en lugares donde no se cuenta con edificios.

El factor importante para este tipo de densificación está en la reutilización de frecuencias y el control de interferencias entre celdas. En este caso la tecnología 4G LTE tiene la ventaja de que se puede fraccionar los anchos de banda de la portadora en (1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 20 MHz), los operadores eligen fraccionar el espectro de su portadora en 5MHz para su reutilización y manejo adecuado de las interferencias que se puedan ocasionar. Tomando en cuenta los mencionados se logra mejorar la cobertura y calidad de servicio en las zonas a implementarse.

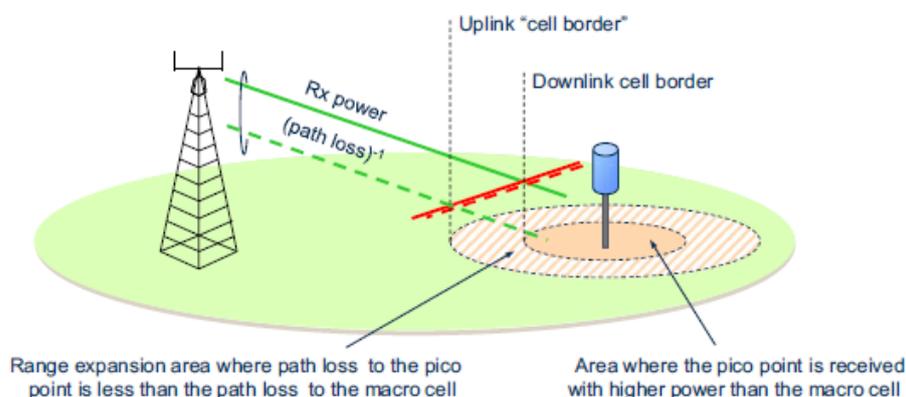
3.8 CANTIDAD DE CELDAS

Los operadores de comunicaciones móviles en el Perú ya cuentan al menos con una cierta cantidad de macro celdas implementados para las tecnologías 2G y 3G que fueron diseñados para la comunicación de voz, sin embargo, la tecnología 4G LTE está orientado al acceso de internet móvil de banda ancha es por es ello la necesidad de cubrir la demanda por la cantidad de usuarios que aumenta exponencialmente. Para realizar la cuantificación de celdas tendremos que cubrir las zonas de alto demanda de tráfico de datos que de acuerdo a los datos obtenidos durante el monitoreo y de acuerdo a la geografía de la ciudad ubicaremos estratégicamente las antenas para su densificación ya que este conteo es relativo y es criterio de cada operador buscar el lugar exacto ubicar su antena y cubrir las zonas saturadas o con baja cobertura ya con esta consideración se realizara el conteo.

Para este caso de diseño se elige la zona con relieve y dónde están ubicadas varias antenas de diferentes operadores y para nuestro caso se tomara como una macro celda existente y desde ese punto se realiza los enlaces punto a punto a las distintas zonas elegidas para la densificación con micro celdas en este caso la zona de la macro celda se denominara “**Site**”, como se dijo que está a una altura considerable debido al relieve y es una torre de 30metros de altura suficiente para realizar los enlaces a los diferentes zonas

a ubicar las antenas de las micro celdas y estarán denominados con el nombre de “**Station**” las cuales mejoraran la calidad de servicio en las zonas elegidas.

Figura 3.8.1 Ilustración área de alta interferencia en una red heterogénea



Fuente: (Dahlman, Parkvall, & Skold, 2014)

Ahora se verá el sitio geográfico con relieve y estado reciente de la ciudad de Juliaca esto ayudara a entender mejor el diseño de esta mejora en la cobertura de 4G LTE para la ciudad de Juliaca, como ya se mencionó la central o estación base se dominara con el nombre de “**Site**” que está en un lugar con una altura considerable y dicha altura es natural por el relieve del lugar y 7 estaciones para micro celdas que están con el nombre de “**Station**” que serán de mediana intensidad las cuales darán cobertura a una área específica luego observaremos los resultados.

3.9 SIMULACIÓN DEL DISEÑO

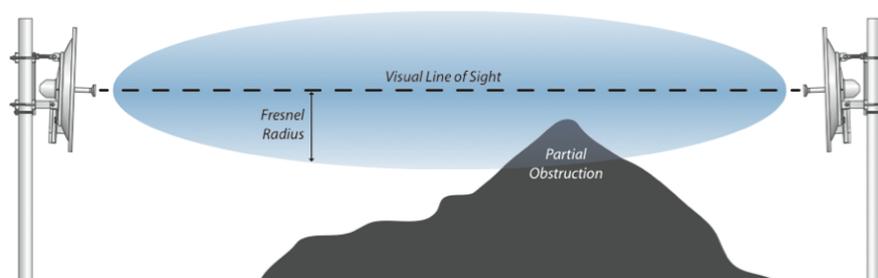
Ahora se procede a realizar las simulaciones del diseño necesarios en esta investigación para lo cual se accede a la página web de simulación llamado Airlink <https://link.ubnt.com/> para ello es necesario ingresar y crear una cuenta la cual nos habilita herramientas y permite realizar simulaciones de acuerdo a ciertas antenas y sus especificaciones; estas antenas tendrán las características que se puedan configurar ya que así permitirán el correcto funcionamiento y la correcta simulación para tener las

referencias a los enlaces punto a punto necesarios para evitar las pérdidas por líneas de vista.

Esta página del simulador de redes móviles está enlazado con Google Earth, todas sus características y con los relieves correspondientes así podremos, realizar los análisis de las líneas de radiación y el correcto funcionamiento de estos, las herramientas de Google proporcionan toda la información geográfica real de posibles interferencias u obstrucciones que puedan suceder en la ubicación de los puntos a fijar las micro celdas en nuestro diseño.

Como se puede visualizar en la siguiente figura el funcionamiento de dicha simulación, podremos verificar que tan efectivo es la simulación de los enlaces y si es el adecuado para su aplicación.

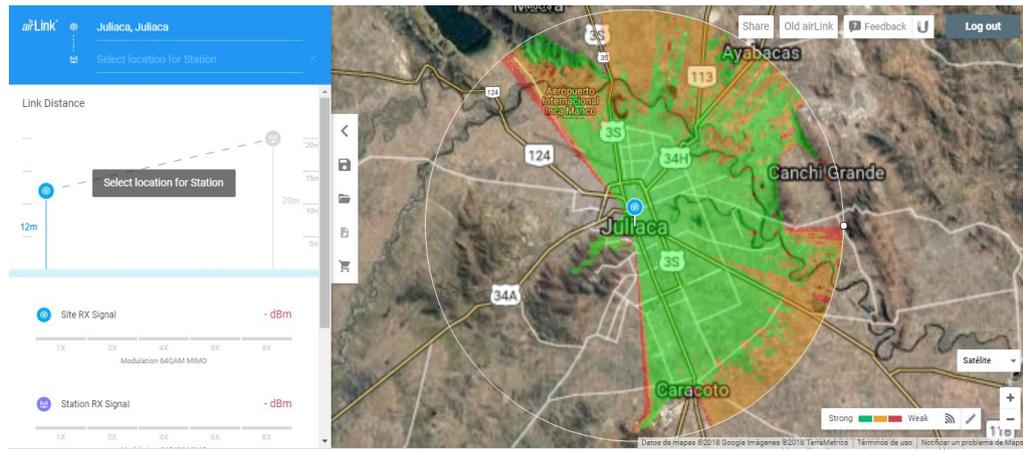
Figura 3.9.1 enlace P2P y zonas de Fresnel



Fuente: <https://help.ubnt.com/hc/en-us/articles/204952224-airMAX-Plan-an-Outdoor-Wireless-Link>

A través del navegador se ingresará a la página de simulación la cual será la que se muestra en la siguiente figura.

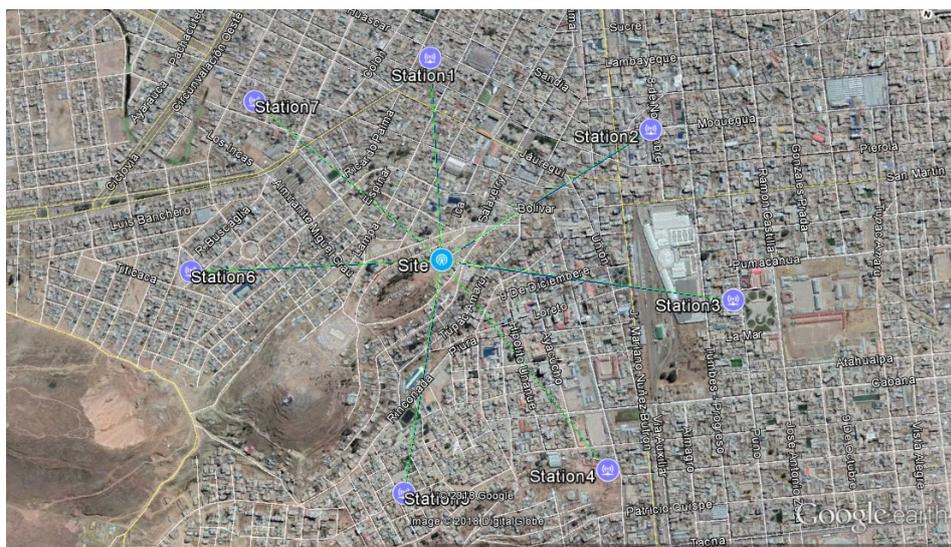
Figura 3.9.2 Interfaz del simulador Airlink



Fuente: <https://link.ubnt.com/>

Ahora en la siguiente figura pondremos una estación central llamado “Site” en base a esta estación central se realizara enlaces punto a punto, luego podremos visualizar las estaciones las cuales están con el nombre de “Station”, en esta simulación que se realizara en esta página web la pasaremos directamente a Google Earth para una mejor visualización y mejor manejo de los enlaces punto a punto y posteriormente hacer las celdas para su correcto funcionamiento y diseño que se le pueda a realizar o dar a esta herramienta.

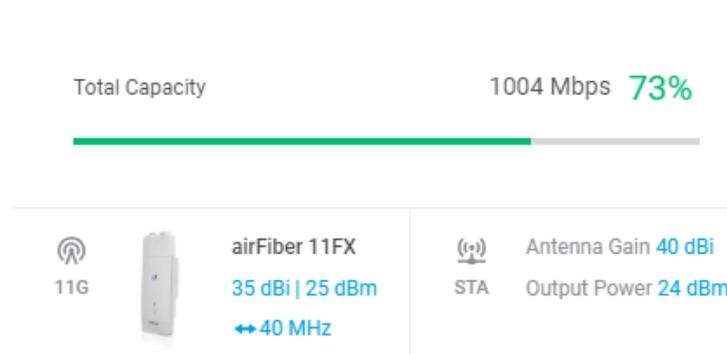
Figura 3.9.3 Visualización con Google Earth



Elaboración Propia

La configuración dependerá mucho de los equipos que se vaya a utilizar, para esta investigación tomaremos en cuenta los equipos que nos proporciona por defecto en la página de simulación y con características que también te proporcionan por defecto, a continuación, en la figura siguiente se muestra las características con la cual se simula el diseño para esta investigación y funciona correctamente según la simulación ya hecha.

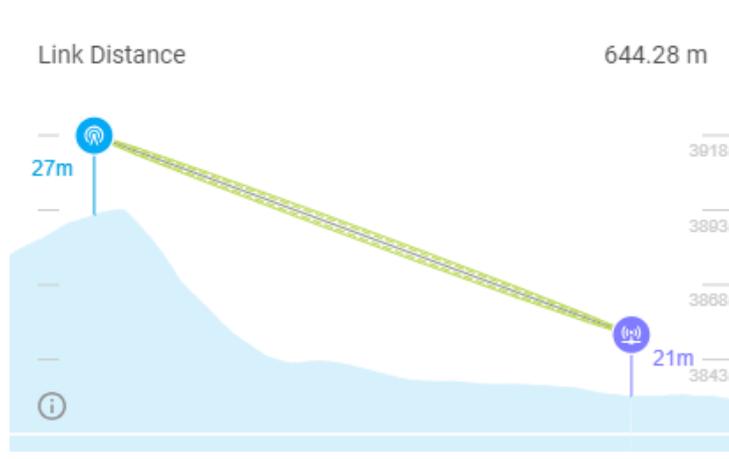
Figura 3.9.4 Características de la antena



Elaboración Propia

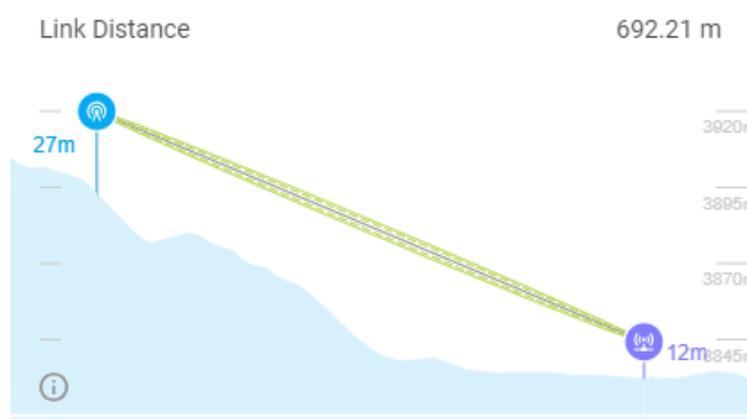
En la siguiente figura se podrá visualizar de acuerdo a la simulación que se tiene para el correcto funcionamiento en el terreno real en el cual se quiere implementar este diseño que en el caso de esta investigación será la ciudad de Juliaca. En la siguiente figura se plasma las alturas de las antenas con su radiación respectiva y estas también sobre dicho relieve que es analizado en el terreno real gracias a Google Earth para su estudio respectivo, podemos ver que las radiación o las líneas de radiación no interceptan con algún montículo de terreno o alguna interferencia que se encuentre en el enlace de estas dos antes, por lo cual esto quiere decir que el enlace punto a punto está perfectamente aceptada con la certeza de que el funcionamiento de estos sea óptimo según la simulación que hicimos.

Figura 3.9.5 Línea de radiación Site – Station1



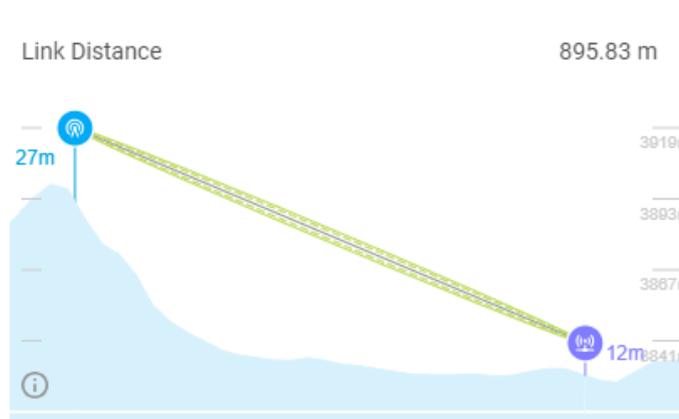
Elaboración Propia

Figura 3.9.6 Línea de radiación Site – Station2



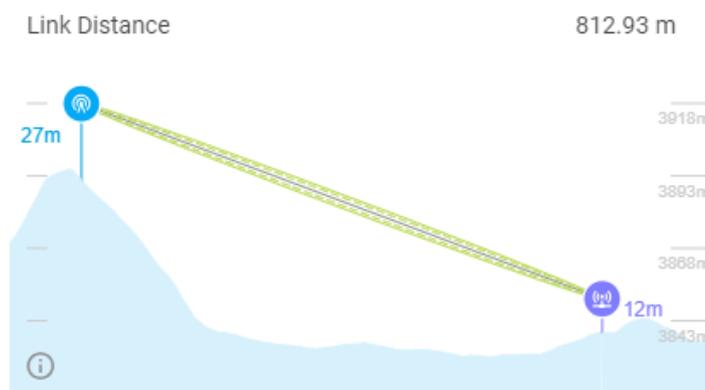
Elaboración Propia

Figura 3.9.7 Línea de radiación Site – Station3



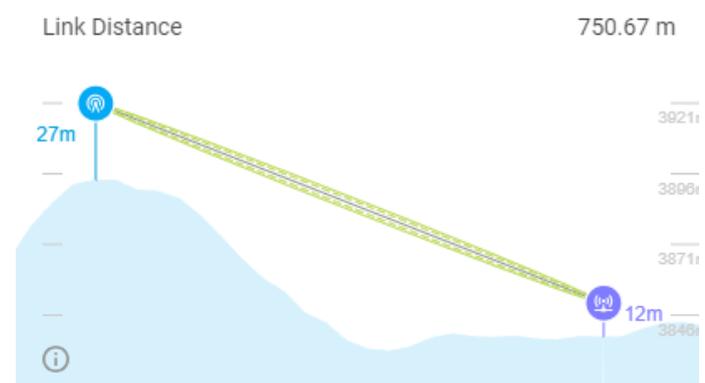
Elaboración Propia

Figura 3.9.8 Línea de radiación Site – Station4



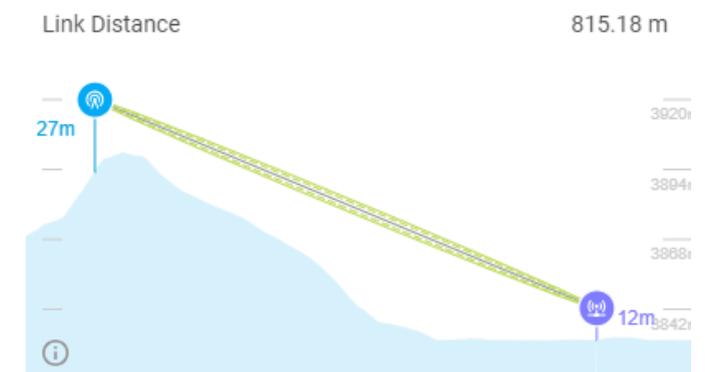
Elaboración Propia

Figura 3.9.9 Línea de radiación Site – Station5

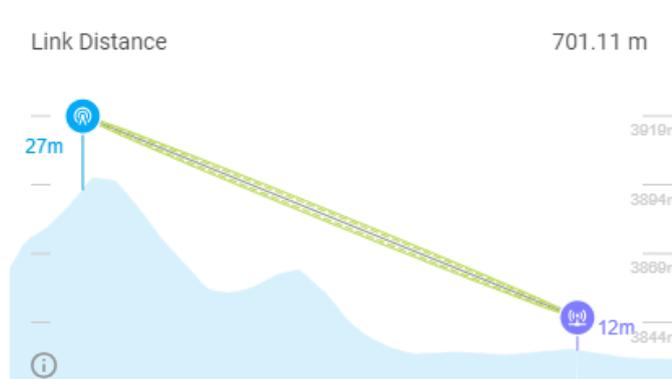


Elaboración propia

Figura 3.9.10 Línea de radiación Site – Station6



Elaboración propia

Figura 3.9.11 Línea de radiación Site – Station7

Elaboración propia

Gracias a las características y a la calidad de simulación que se está realizando también se puede visualizar en dos líneas concisas el enlace que se realiza entre una antena y otra, estas líneas tienen el objetivo de poder entender mejor el funcionamiento de los enlaces punto a punto como también poder visualizar de manera fácil simple y sencilla los enlaces que se puede hacer. Existen dos líneas, la línea de color verde que nos indica un enlace a través de la radiación que se ejecutara entre las antenas y esta se realizara por aire ya que es el medio por el cual se propaga la señal de las antenas, pero por otro lado tenemos una línea de color azul y esta nos muestra una referencia con respecto al suelo la línea de radiación que ha entre una antena y otra, esta puede servir para tener un estudio más detallado de los enlaces que se requiera realizar. En la siguiente figura podremos visualizar ambas líneas que mencionamos anteriormente en las 7 antenas llamadas “Station” las cuales están enlazadas a una antena central llamada “Site”.

Figura 3.9.12 Líneas de radiación y referencia con respecto al suelo o terreno de las antenas Site-Station1



Elaboración propia

Figura 3.9.13 Líneas de radiación y referencia con respecto al suelo o terreno de las antenas Site-Station2



Elaboración propia

Figura 3.9.14 Líneas de radiación y referencia con respecto al suelo o terreno de las antenas Site-Station3



Elaboración propia

Figura 3.9.15 Líneas de radiación y referencia con respecto al suelo o terreno de las antenas Site-Station4



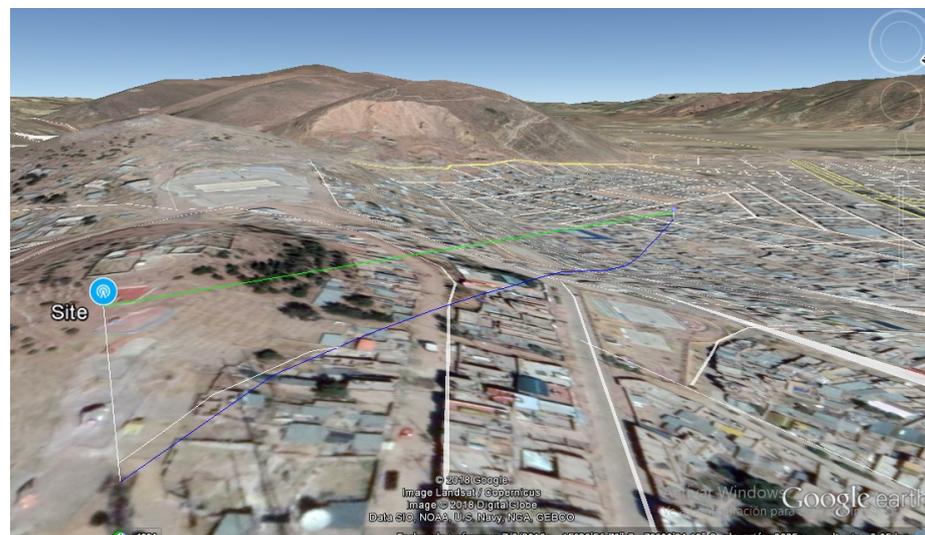
Elaboración propia

Figura 3.9.16 Líneas de radiación y referencia con respecto al suelo o terreno de las antenas Site-Station5



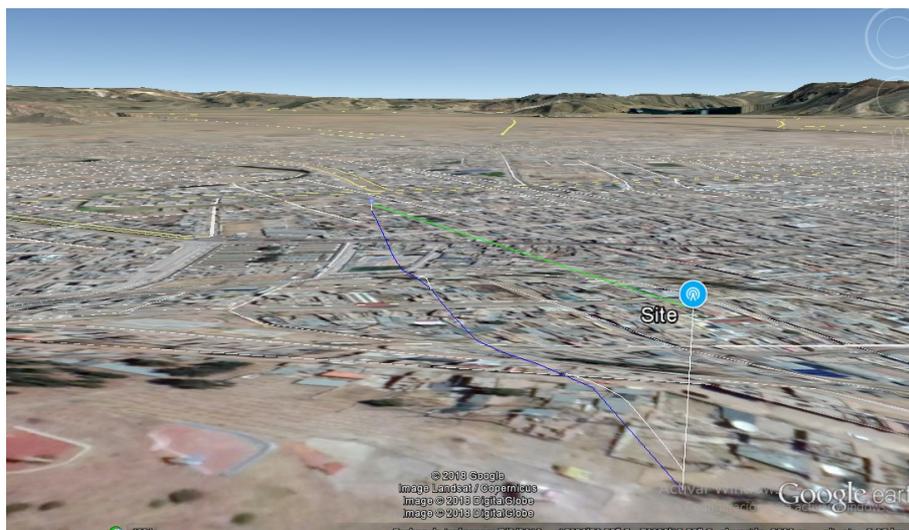
Elaboración propia

Figura 3.9.17 Líneas de radiación y referencia con respecto al suelo o terreno de las antenas Site-Station6



Elaboración propia

Figura 3.9.18 Líneas de radiación y referencia con respecto al suelo o terreno de las antenas Site-Station7



Elaboración Propia

Figura 3.9.19 Vista general de líneas de radiación y referencia con respecto al suelo o terreno de las antenas.

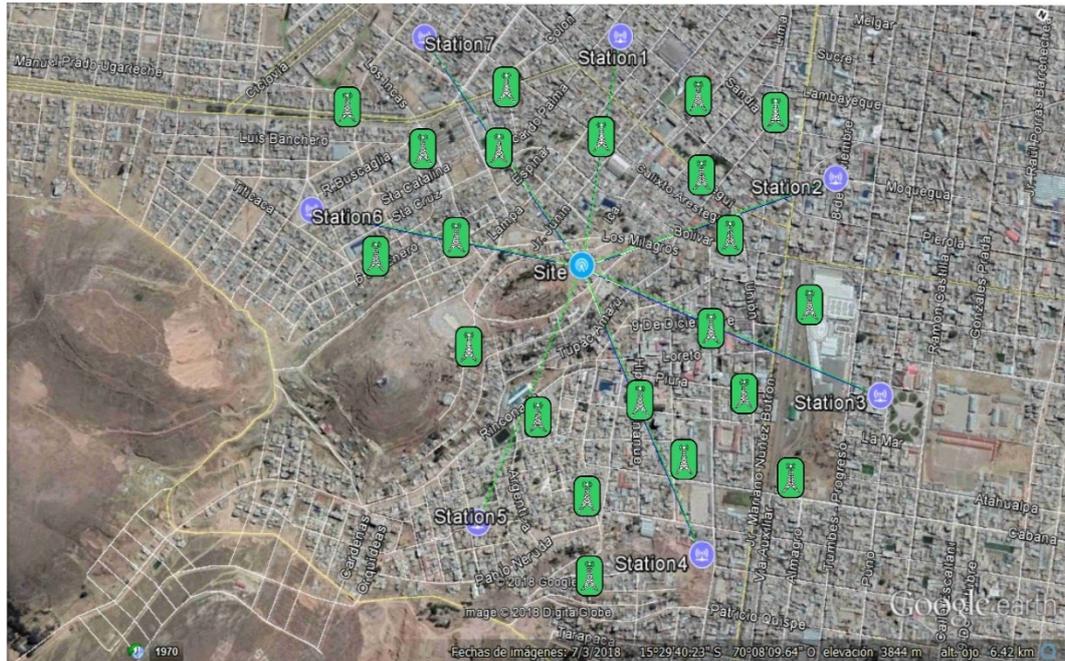


Elaboración propia

Luego de realizar esta simulación con los enlaces punto a punto, procedemos a realizar los enlaces punto a punto nuevamente, pero en distancias cortas y pequeñas las cuales sería nuestras células como ya mencionamos en puntos anteriores. Estas células nos permitirán mejorar la cobertura y la eficiencia del diseño, para lo cual procedemos a

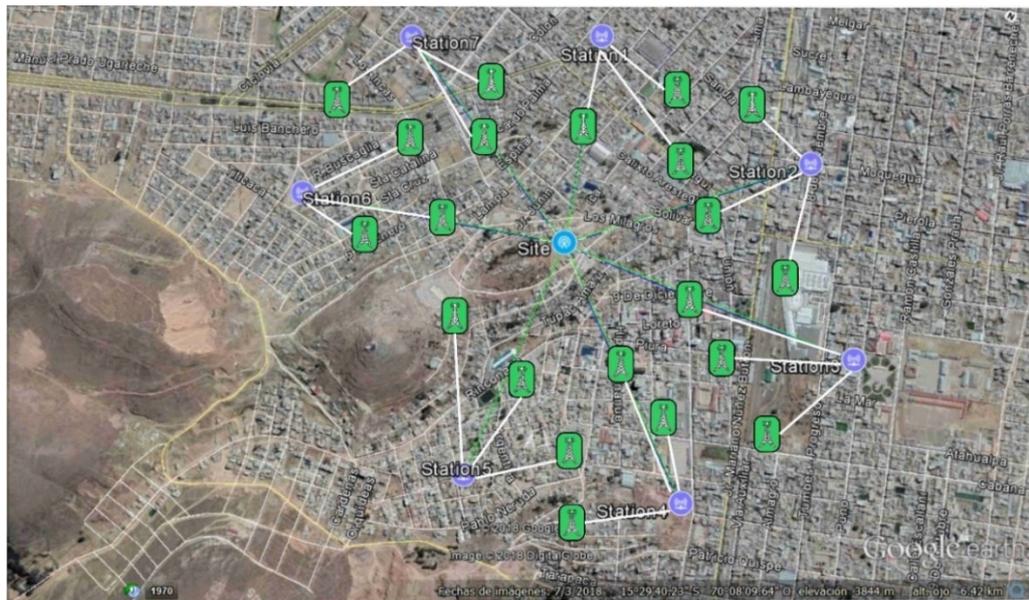
realizar las conexiones punto a punto entre las “Station” con células que funcionarán como repetidores y mejoradores de señal. Las células o estaciones pequeñas se identifican con la antena dentro de rectángulo con puntas circulares, esta aclaración para el mejor entendimiento de la figura 3.9.20 mostrada.

Figura 3.9.20 Ubicación de las células o estaciones pequeñas



Elaboración propia

Se muestra en la figura el enlace punto a punto que se va a realizar y para esto se consideró que cada antena mediana o “Station” tendrá exactamente 3 antenas pequeñas o pequeñas estaciones las cuales estarán emitiendo también radiación, la figura siguiente muestra los enlaces punto a punto que se puede ejecutar con las estaciones pequeñas y enlazar con las antenas medianas.

Figura 3.9.21 Enlaces punto a punto Station-Antenas pequeñas

Elaboración propia

Ahora lo que se realizara es a crear una radiación en forma circular que representara la cobertura de dicha celda para el buen y correcto funcionamiento de este sistema el cual está siendo analizado.

- Desde la Macro celda se tendrán 7 antenas direccionales para establecer la comunicación de la estación base a la estación mediana de acuerdo con el enlace punto a punto. Esta estación base tendrá antenas omnidireccionales que cubrirán la zona específica las cuales darán y permitirán al usuario navegar o tendrá conectividad si está dentro del rango de trabajo de estas antenas. Tendrá la cantidad suficiente de antenas omnidireccionales para tener un área de una circunferencia con cobertura/conectividad.
- La base mediana tendrá 4 antenas direcciones ya que una antena será para la comunicación con la base central o principal y las otras 3 serán para las células o estaciones pequeñas. Estas estaciones también tendrán las

antenas omnidireccionales para tener un área de una circunferencia con cobertura/conectividad.

- Las estaciones pequeñas deberán de contener una antena direccional la cual se utilizará para la comunicación de punto a punto con la estación mediana para así también esta estación pequeña disponga de cobertura/conectividad. Estas mismas también tendrá la cantidad suficiente de antenas omnidireccionales para tener un área de una circunferencia con cobertura/conectividad.

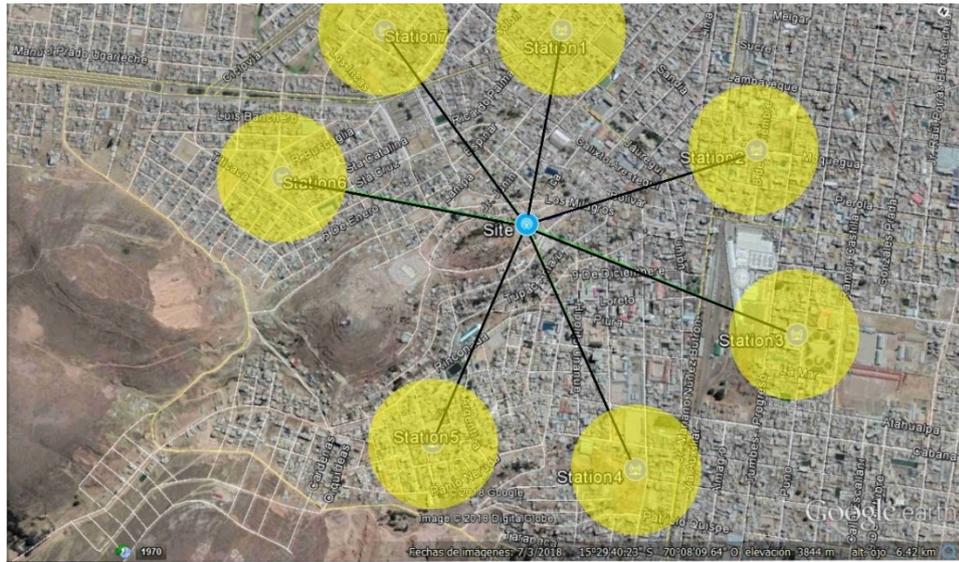
Como se puede visualizar en la siguiente figura se muestra el rango de cobertura que puede ofrecer las antenas omnidireccionales para el mejor entendimiento, este rango se representa como una circunferencia el cual si el dispositivo Mobile está dentro de este rango tendrá conectividad, pero si esta fuera de rango de cobertura entonces estará cubierto por la Macro celda.

Conociendo este funcionamiento podemos determinar que las áreas de trabajo o áreas de cobertura de cada estación son distintas.

Para la estación central o Macro celda el rango de trabajo o de cobertura es de mayor área que las. Small Cells

Para la estación de mediano tamaño el rango de trabajo o cobertura en el que lograra realizar la conectividad con los dispositivos es menor a la estación central y relativamente de más área a comparación del área a de las células o estaciones pequeñas, y están representadas por el color amarillo como se muestra en la siguiente figura, y las coordenadas geográficas se encuentran descritos en el ANEXO 3.

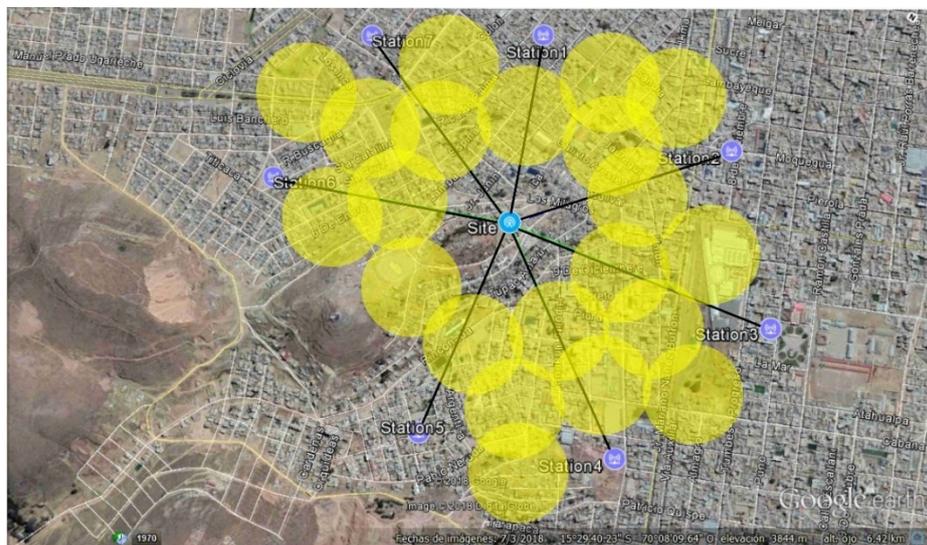
Figura 3.9.22 Rango de cobertura para la estación mediana



Elaboración propia

Por último, en la estación pequeña o célula como anteriormente lo llamamos aquí podremos ver claramente en la figura de que el área de cobertura o área de trabajo a la cual estará para la conectividad de algún dispositivo es menor al área de trabajo de la estación mediana y considerablemente menos al área de trabajo a la estación central o estación principal. Aquí también podemos observar que el área de cobertura está representada por una circunferencia de color amarillo.

Figura 3.9.23 Rango de cobertura para la estación pequeña



Elaboración propia

3.10 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN DE LOS PROVEEDORES

En el Perú existe cuatro operadores de redes móviles los cuales operan en los espectros de radio frecuencia concesionados por la MTC cada uno de ellos opera en los diferentes rangos de frecuencia, y con respecto a la tecnología 4G LTE los operadores móviles trabajan de la siguiente manera: Movistar opera bajo la banda 4, en la frecuencia de 1700 / 2100 MHz y banda 28 de frecuencia 700 MHz. Claro opera bajo la banda 2, en la frecuencia de 1900 MHz y banda 28 de frecuencia 700 MHz. Entel opera bajo la banda 4, en la frecuencia de 1700 MHz / 2100 MHz y banda 28 de frecuencia 700 MHz. Bitel a través de su banda 1900 MHz y banda 8 de frecuencia 900 MHz.

3.11 PÉRDIDA DE PROPAGACIÓN

La ecuación de Friis se centra en la comunicación inalámbrica y permite saber la potencia recibida en un determinado receptor (antena), en términos de la potencia enviada.

La fórmula de pérdida de trayectoria en el espacio libre (FSPL) deriva de la fórmula de transmisión de Friis que establece la ganancia de potencia de un sistema de antena.

$$\frac{P_r}{P_t} = D_t D_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3.11.1)$$

La fórmula FSPL expresa un valor de pérdida que es el beneficio recíproco y asume que la directividad para las antenas de transmisión y recepción es isotrópica y, por lo tanto, unitaria. Ambas modificaciones simplifican la ecuación a...

$$\text{FSPL} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (3.11.2)$$

Donde:

λ : es la longitud de onda de la señal.

d: es la distancia entre las antenas.

$d \gg \lambda$ ambas antenas están campo lejano (far field) de cada una.

Sustituir c/f por λ donde:

c: es la velocidad de la luz en metros.

f: es la frecuencia en Hertz.

A pesar del nombre engañoso, la fórmula de pérdida de trayectoria en el espacio libre hereda dos efectos importantes de la fórmula de transmisión de Friis.

- Intensidad (I): la densidad de potencia debida a la pérdida de trayectoria al propagar la energía electromagnética produciendo una pérdida proporcional al cuadrado de la distancia.
- Área de captura de la antena (A_{eff}): la capacidad de la antena receptora para capturar la energía electromagnética que produce una pérdida inversamente proporcional al cuadrado de la longitud de onda o proporcional al cuadrado de la frecuencia.

Por lo tanto, la ecuación para FSPL es:

$$FSPL \propto \frac{1}{I \cdot A_{eff}} \quad (3.11.3)$$

Friis implica que las antenas son isotrópicas. Por lo tanto, la densidad de potencia I de la antena de transmisión isotrópica frente a la distancia desde la antena d es:

$$|I| \propto \frac{1}{4\pi d^2} \quad (3.11.4)$$

El área efectiva de la antena isotrópica es:

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (3.11.5)$$

Para aplicaciones de radio típicas, es común encontrar f medido en unidades de GHz y d en Km, en cuyo caso la ecuación FSPL se convierte en:

$$FSPL(dB) = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 92.45 \quad (3.11.6)$$

Para d , f en metros y KHz, respectivamente, la constante es -87.55.

Para d , f en metros y MHz, respectivamente, la constante es -27.55.

Para d , f en Km y MHz, respectivamente, la constante es 32.45.

Para 5 GHz y una distancia de 895.83 m, FSPL es 105.48 dB

Para 2.4 GHz y una distancia de 895.83 m, FSPL es 99.10 dB

Para 2.1 GHz y una distancia de 250 m, FSPL es 86.85 dB

Para 1.9 GHz y una distancia de 250 m, FSPL es 85.96 dB

Para 1.7 GHz y una distancia de 250 m, FSPL es 85.02 dB

Para 900 MHz y una distancia de 250 m, FSPL es 79.50 dB

No se incluyen la ganancia de la antena transmisora ni de la antena receptora porque es posible usar estos datos en caso de cambiar el tipo de antena o alguna característica.

3.12 CÁLCULO DE NÚMERO DE ESTACIONES BASE

El cálculo para determinar el número de estaciones base se realiza sumando el área de cobertura de cada célula conformada por una estación base, de esta forma se trata de cubrir el área total; las estaciones base pueden tener diferentes áreas de cobertura y están ubicadas en distintas zonas y para brindar un servicio de calidad se permite que el área de una célula pueda sobreponerse sobre el área de otra célula creando una zona de intersección, esta zona de intersección debe tener un porcentaje mínimo en cuanto el área para no crear zonas donde la señal tenga el riesgo de perderse.

3.13 PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIA Y RATIO C/I

El objetivo de la planificación de frecuencia es aumentar la eficiencia espectral de tal manera que la misma interferencia de canal se mantenga en un nivel controlado. Como ejemplo, GSM tolera el mismo valor de interferencia de canal de C / I_c (portadora por interferencia) de 9 dB. En la práctica, el valor de planificación debe ser más alto para mantener el nivel de incertidumbre lo suficientemente bajo. Para la protección del primer canal vecino, normalmente es suficiente que el canal vecino se utilice ya en la estación base vecina más cercana. El segundo canal vecino, es decir, con un canal intermedio, se puede usar incluso en la misma estación base.

3.14 PRESUPUESTO DE ENLACES ASCENDENTE Y

DESCENDENTE

La siguiente tabla muestra los presupuestos de enlace fijo para el enlace descendente con una velocidad de datos de 1 Mb / s. Se puede ver que este presupuesto de enlace es similar a un presupuesto de enlace de enlace ascendente de 64 kbps. También se puede observar que el presupuesto de enlace para LTE Up link con 64 kb / s es al menos similar con HSPA de 64 kb / s, o con el presupuesto de enlace GSM para el servicio

de voz. Las diferencias son básicamente para el margen de desvanecimiento rápido, la diversidad de macro y el margen de interferencia. La tabla muestra un caso con transmisión de estación base de 40 Watts, pérdida de cable de 2 dB, ancho de banda de 10 MHz.

Tabla 3.14.1 Presupuesto de enlace descendente de 1024kbps

Término	TX, Nodo B	Valor	Información
a	Potencia HS-DSCH (dBm)	46.0	
b	Ganancia de antena TX (dBi)	18.0	
c	Pérdida de alimentador de antena (dB)	2.0	
d	EIRP (dBm)	62.0	$d=a+b+c$
Término	RX, UE	Valor	Información
e	Ruido figurado UE (dB)	7.0	

f	Ruido térmico (dBm)	-104.5	$f = \text{Boltzman} * T * B$; $T = 290K$, $B = 9 \text{ MHz}$
g	Ruido de piso receptor (dBm)	-97.5	$g = e + f$
h	SINR (dB)	-10.0	Basado en las simulaciones
i	Sensibilidad del receptor (dBm)	-107.5	$i = g + h$
j	Margen de interferencia (dB)	4.0	
k	Canal de control de sobrecarga (dB)	1.0	
l	Ganancia de antena receptora (dBi)	0.0	

m	Pérdida de cuerpo (dB)	0.0	
n	Pérdida máxima de trayectoria	164.5	$n=d-i-j-k+l-m$

Elaboración Propia

Además, la tabla siguiente presenta el presupuesto de enlace para el dispositivo de 24 dBm con 2 bloques de recursos reservados para la velocidad de datos de 64 kb / s. El presupuesto del enlace descendente es relativamente similar con LTE y otros sistemas OFDM como DVB-H. Se puede ver que, en este caso específico, el equilibrio del enlace descendente-enlace ascendente se logra en la práctica.

Tabla 3.14.2 Presupuesto de enlace Ascendente

Término	TX, UE	Valor	Información
a	Potencia máxima TX (dBm)	24.0	
b	Ganancia de antena TX (dBi)	0.0	

c	Pérdida de cuerpo (dB)	0.0	
d	EIRP (dBm)	24.0	$d=a+b+c$
Término	RX, Nodo B	Valor	Información
e	Ruido figurado Nodo B (dB)	2.0	
f	Ruido térmico (dBm)	-118.4	$f=Boltzman*T*B$; $T=290K$, $B=360$ KHz
g	Ruido de piso receptor (dBm)	-116.4	$g=e+f$
h	SINR (dB)	-7.0	Basado en las simulaciones
i	Sensibilidad del receptor (dBm)	-123.4	$i=g+h$

j	Margen de interferencia (dB)	1.0	
k	Pérdida en el cable (dB)	2.0	
l	Ganancia de antena receptora (dBi)	18.0	
m	Ganancia MHA (dB)	2.0	
n	Pérdida máxima de trayectoria	164.4	$n=d-i-j-k+l-m$

Elaboración Propia

3.15 POTENCIA DE TRANSMISOR ENODO B

Para un diseño adecuado de los niveles de potencia de eNodoB en el presupuesto del enlace, se deben conocer limitaciones realistas. El nivel de potencia útil máximo depende del fabricante de HW y las variantes. Un escenario típico podría ser que para FD-LTE, se pueda tener soporte para las categorías de 8, 20, 40 y 60W, mientras que para el HW se considera, pero el nivel de potencia final se activa a través de la correspondiente licencia de SW. También es importante tener en cuenta si el HW admite sectores únicos

o múltiples, es decir, en este caso, el nivel máximo de potencia podría ser $1 \times 60 \text{ W}$ para un solo sector, o $60 + 60 + 60 \text{ W}$ para un total de 3 sectores. De nuevo, normalmente estas variaciones son posibles de modificar a través de la licencia de SW si los respectivos amplificadores de potencia están incluidos en el HW. Además de las activaciones reales del nivel de energía, el proveedor podría ofrecer la posibilidad de activar ciertos niveles de energía para ciertos escenarios de tal manera que la distribución de energía pueda variar junto con las mejoras del despliegue de la red. De este modo, el operador puede seleccionar y modificar los niveles de potencia, por ejemplo, ofreciendo a través de la misma HW una micro célula de baja potencia (por ejemplo, 8 W) o una celda rural de alta potencia (por ejemplo, 60 W). La tabla continuación muestra ejemplos de los niveles de potencia. La activación de la licencia de SW para las funciones de HW, como los niveles de potencia y la cantidad de sectores, es beneficiosa tanto para los proveedores de equipos como para los operadores de red, ya que los niveles de potencia ya están incluidos en la HW, y junto con el aumento del tráfico, el operador puede decidir caso por caso, la inclusión de capacidad adicional sin gastar todo el CAPEX desde el primer día. Además, el valor del ancho de banda también puede variar según la necesidad. Un tipo similar de configuraciones es posible ofrecer para TD-LTE. El amplificador de potencia podría soportar, por ejemplo, $20 + 20 \text{ W}$ vía cabezas de radio remotas. 3GPP ha especificado categorías de potencia para el UE, es decir, la potencia de transmisión de banda ancha. El eNodeB asigna potencia constante por subportadora en la transmisión de enlace descendente, que el operador puede configurar como un parámetro de O&M. La potencia total de eNodeB se comparte entre todas las subportadoras, independientemente de cuántas de ellas se utilicen para la asignación de datos. Cuanto menor sea el número de subportadoras asignadas al usuario, menos potencia se recibe en el UE.

Tabla 3.15.1 Niveles de transmisión de potencia y ancho de banda del eNB

Ancho de Banda (MHz)	Número de PRB (Physical Resource Block)	La potencia resultante del eNodeB (W)
1.4	6	8
3.0	15	20
5.0	25	40
10	50	60
15	75	60+60
20	100	60+60

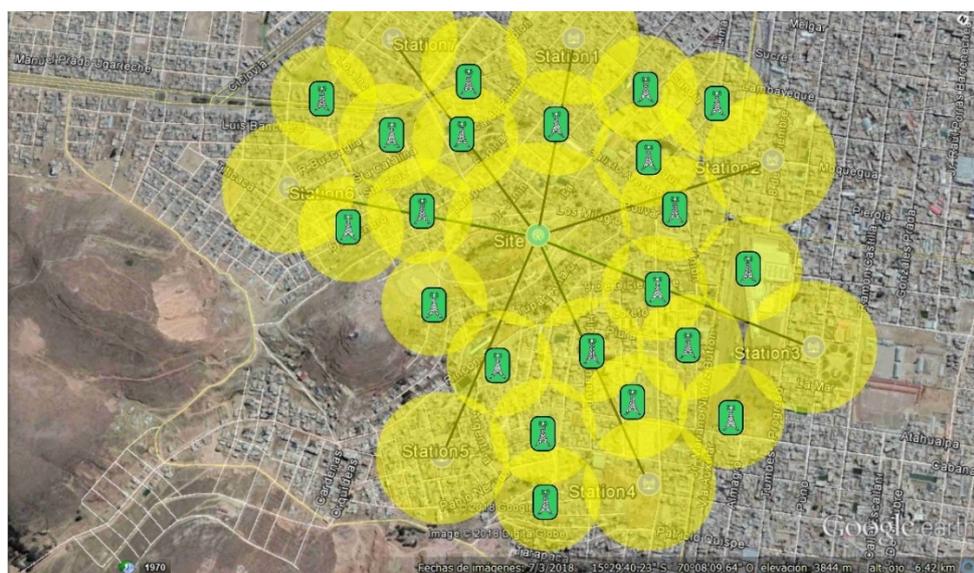
Elaboración Propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los enlaces que se hizo y las visualizaciones independientes que se observó en cada estación con respecto al área de trabajo que tiene cada estación en enlaces de punto a punto se puede observar que podemos cubrir la parte proyectada de la ciudad de Juliaca y esta con una señal óptima para el cliente y muy eficiente para la conectividad 4G LTE. El resultado que podemos obtener de esta investigación es que gracias a este diseño se logra optimizar por completo toda la zona céntrica de la ciudad de Juliaca y lo podremos visualizar en la siguiente figura.

Figura 3.15.1 Cobertura en zona proyectada para el diseño de la ciudad de Juliaca



Elaboración propia

Se puede observar claramente que, al unir todas las áreas de trabajo grande, medianas y pequeñas se logra cubrir la parte céntrica de la ciudad de Juliaca para así tener una mejor calidad de servicio en una red 4G LTE gracias a la implementación de las células. La investigación ayudara a que se pueda diseñar conectividad en base a células

para su mejora en la señal, rapidez, ancho de banda, etc. para una mejor experiencia con la tecnología de alta velocidad.

DISCUSIÓN

Desempeño de Small Cells para solventar problemas de Capacidad, Cobertura

Basado en los antecedentes: antecedente 1 del autor Morales Álvarez se ha considerado el uso de Small Cells en zonas urbanas de alto tráfico donde luego de realizar la optimización y densificación de la red se puede obtener buena capacidad, calidad de servicio, en este caso se ha usado los Small Cells para compensar la saturación de las macro celdas o cobertura baja debido a que no se puede densificar más en la ciudad por los problemas sociales negándose los permisos para la instalación de más estaciones base incluso lograr convencer al municipio local a no dar licencia a los operadores para su instalación, en nuestro caso con los Small Cells ya no causara preocupación de los residentes solo basta la instalación en espacios estratégicos y así optimizar la red para el beneficio de la zona.

Small Cell Deployment Evaluation on LTE

Basado en los antecedentes: Antecedente 2 del autor Alves Pereira, toma en cuenta que la planificación adecuada es la mejor herramienta para la cancelación de interferencias, de acuerdo a la necesidad de densificación con Small Cells en la ciudad de Juliaca se toma en cuenta la planificación adecuada para la reutilización de frecuencias que permitirán la distribución adecuada de las frecuencias para cada celda.

Diseño de la Red de Acceso LTE para Datos en la Ciudad

Basado en los antecedentes: Antecedente 3 del autor Arévalo Pinzón se ha considerado tener los parámetros para el diseño de la RAN que son indispensables tales como la banda de frecuencia, ancho de banda, Perfil de elevación de la ciudad, esos detalles son tomados para el diseño en este proyecto ya que se conoce la geografía de la ciudad y el uso de las zonas elevadas ayuda bastante para la ubicación de las macro celdas y desde ese punto realizar los enlaces hacia las micro celdas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Se logró diseñar una red LTE Avanzado mejorando la densificación de red de acceso mediante desplazamiento heterogéneo en función de las celdas existentes y la densificación de pequeñas celdas de esta forma mejora la calidad de tasa de transferencia en lugares donde la célula alcanza su radio de cobertura y con la calidad suficiente para el usuario final. Todo esto se garantiza gracias a los cálculos de pérdidas de propagación en el espacio libre y el control de potencia de bucle cerrado.

Se ha concretado el diseño de la red y su arquitectura de red propuesta en el proyecto para que mejore la disponibilidad de cobertura de red, QoS (calidad y servicio) y velocidades de transmisión de datos.

Se determinó la propiedad distintiva de un despliegue heterogéneo en escenarios de interferencia significativamente más complejos como es la comunicación de macro celdas y pequeñas celdas. Esto se logra usando los cálculos de planificación de frecuencia y ratio C / I.

Se ha documentado y analizado la situación problemática actual que existe en la demanda de tráfico y así desarrollar la técnica propuesta por la investigación y aplicar los conocimientos para diseñar dicha red y el principio de reutilización de frecuencia.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

Se puede continuar con el diseño de una red de quinta generación (5G), considerando que esta nueva arquitectura necesita mayor cantidad de celdas que tendrán una cobertura menor, considerando también que incluso el tipo de antenas cambiará, de esta forma mejorar la calidad de tasa de transferencia y la calidad suficiente para el usuario final.

La calidad de servicio (QoS) es un tema que debe ser ampliado, porque su estudio es un tema de diseño y pruebas con mayor detalle.

El despliegue heterogéneo es una técnica que puede ser complementada con otras técnicas descritas en la revisión de la literatura, las técnicas usadas en esta investigación son un punto de partida para mejorar un diseño de red avanzado.

El despliegue de las micro celdas debe ser progresivo de este modo cubrir las zonas con mayor demanda de tráfico y lograr la optimización de la red.

La demanda de tráfico se puede determinar en base a la teoría de la tecnología LTE, pero con una visión de transición a la quinta generación, que a su vez se requerirá el diseño del medio de transporte de retorno de flujo de datos mediante la fibra Óptica que hasta la actualidad no se hace un uso adecuado del proyecto de la red Dorsal a nivel nacional.

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(2013). "Study on small cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN.

Airlink. (s.f.). Obtenido de <https://link.ubnt.com/>

Alves Pereira, J. (2013). *Small Cell Deployment Evaluation on LTE*. Lisboa.

Arévalo Pinzón, H. J. (2014). *Propuesta de Diseño de la Red de Acceso LTE para Datos en la Ciudad de Paris*. Bogota.

Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory Analysis and design*. Wiley.

Calderón Vilca, J. G. (2011). *Analisis y Prestaciones entre LTE y Wimax*. Puno.

Cox, C. (2014). *An Introduction to LTE, LTE Advanced, SAE, VoLTE and 4G Mobile Communications*. United Kingdom: John Wiley & Sons.

Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2014). *4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*. United kingdom: Elsevier.

del Horno Torres, S. (2016). *Estudio de la estrategia de Coordinación de interferencias entre celdas (ICIC) en LTE*. Barcelona.

Electronicdesign. (s.f.). Obtenido de <https://www.electronicdesign.com/test-and-measurement/test-and-measurement/test-and-measurement-functionality-your-lte-devices>

G-NetTrack Lite. (s.f.). Obtenido de http://www.gyokovsolutions.com/manuals/gnettrack_manual.php

Holma, H., & Antti, T. (2009). *LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons.

INEI. (s.f.). Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/censos/>

Morales Álvarez, R. (2015). ESTUDIO TECNICO Y ANALISIS DEL DESEMPEÑO DE SMALL CELLS PARA SOLVENTAR PROBLEMAS DE CAPACIDAD, COBERTURA Y CALIDAD DENTRO DE UNA RED DE TELEFONIA MOVIL 4G LTE. SANGOLQUI.

Network Cell Info Lite. (s.f.). Obtenido de <http://wilysis.com/networkcellinfo/13-manual>

Osiptel. (s.f.). Obtenido de <https://www.osiptel.gob.pe/galeria/teveo-osiptel-video-tutorial>

Rohde&schwarz. (s.f.). Obtenido de https://www.rohde-schwarz.com/es/tecnologias/celular/lte/tecnologia-lte/informacion-sobre-lte_52292.html?rusprivacypolicy=1

Rumney, M. (2013). LTE and the Evolution to 4G Wireless Design and Measurement Challenges. United Kingdom: John Wiley & Sons.

The telecommunications handbook engineering guidelines for fixed, mobile and satellite systems. (2015).

Tutorialspoints. (s.f.). Obtenido de http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_ofdm_technology.htm

Vaca Silva, J. A. (2015). Evaluación de la Tecnología Small Cells en una Red de última generación 3G/LTE. Quito.

Kreher Ralf and Gaenger Karten (2011) LTE Signaling, Troubleshooting, and Optimization. John Wiley & Sons.



	Autorizado	Autorizado	Autorizado	Autorizado
	2	2	2	3
	NO	NO	NO	NO
	NO	NO	NO	NO
	Otro: JR. 7 DE JUNIO	Otro: JR. 7 DE JUNIO	Otro: JR. 7 DE JUNIO	Otro: JR. 7 DE JUNIO
Otro: NO SE PUEDE EFECTUAR LA LLAMADA	Otro: NO SE PUEDE EFECTUAR LA LLAMADA	Otro: NO SE PUEDE EFECTUAR LA LLAMADA NI RECIBIR, NI MSJES NI INTERNET	Otro: NO SE PUEDE EFECTUAR LA LLAMADA NI RECIBIR, NI MSJES NI INTERNET	
ANDROID	ANDROID	ANDROID	ANDROID	
[OTRO]	[OTRO]	[OTRO]	[OTRO]	
SONY	SONY	SONY	SONY	
He transitado por Plaza Bolognesi, Jr.7 de junio, Plaza Bolognesi, Jr. Mariano Nuñez, Parque Grau, sin posibilidad de realizar llamadas ni recibirlas, igual con los mensajes de texto.	He transitado por Plaza Bolognesi, Jr.7 de junio, Plaza Bolognesi, Jr. Mariano Nuñez, Parque Grau, sin posibilidad de realizar llamadas ni recibirlas, igual con los mensajes de texto.		He transitado por Plaza Bolognesi, Jr.7 de junio, Plaza Bolognesi, Jr. Mariano Nuñez, Parque Grau, sin posibilidad de realizar llamadas ni recibirlas, igual con los mensajes de texto. Situacion que se presenta desde el 13 de agosto.	
VALDIVIA	VALDIVIA	VALDIVIA	VALDIVIA	
BANDA	BANDA	BANDA	BANDA	
MARCO	MARCO	MARCO	MARCO	
19/08/2015	19/08/2015	19/08/2015	19/08/2015	
19/08/2015	19/08/2015	19/08/2015	19/08/2015	
CLARO	CLARO	CLARO	CLARO	
JULIACA	JULIACA	JULIACA	JULIACA	
JULIACA	JULIACA	JULIACA	JULIACA	
SAN ROMAN	SAN ROMAN	SAN ROMAN	SAN ROMAN	
PUNO	PUNO	PUNO	PUNO	
2111010001	2111010001	2111010001	2111010001	
RPCMI50093	RPCMI50094	RPCMI50095	RPCMI50096	

	Autorizado	Autorizado	Autorizado
	3	3	0
	NO	NO	NO
	NO	NO	NO
Otro: JR. 7 DE JUNIO	Otro: JR. 7 DE JUNIO	Otro: JR. 7 DE JUNIO	Otro:
Otro: NO SE PUEDE EFECTUAR LA LLAMADA NI RECIBIR , NI MSJES NI INTERNET	Otro: NO SE PUEDE EFECTUAR LA LLAMADA NI RECIBIR , NI MSJES NI INTERNET	Otro: NO SE PUEDE EFECTUAR LA LLAMADA NI RECIBIR , NI MSJES NI INTERNET	Otro:
ANDROID	ANDROID	ANDROID	ANDROID
[OTRO]	[OTRO]	[OTRO]	[OTRO]
SONY	SONY	SONY	SONY
He transitado por Plaza Bolognesi, Jr.7 de junio, Plaza Bolognesi, Jr. Mariano Nuñez, Parque Grau, sin posibilidad de realizar llamadas ni recibirlas, igual con los mensajes de texto. Situación que se presenta desde el 13 de agosto.	He transitado por Plaza Bolognesi, Jr.7 de junio, Plaza Bolognesi, Jr. Mariano Nuñez, Parque Grau, sin posibilidad de realizar llamadas ni recibirlas, igual con los mensajes de texto. Situación que se presenta desde el 13 de agosto.	Estando por el terminal terrestre av. San Martin la señal es deficiente a veces nula en si el problema con esta empresa viene sucediendo desde el 24 de diciembre del 2015, desde esa fecha la señal simplemente bajo de calidad. Mientras que estando en otras ciudades como Puno Arequipa la señal es aceptable. Si alguien más presenta el mismo problema con esta empresa (bitel) reporten.	
VALDIVIA	VALDIVIA	PARICAHUA	
BANDA	BANDA	VALERIANO	
MARCO	MARCO	DIEGO	
19/08/2015	19/08/2015	23/02/2016	
19/08/2015	19/08/2015	23/02/2016	
CLARO	CLARO	BITEL	
JULIACA	JULIACA	JULIACA	
JULIACA	JULIACA	JULIACA	
SAN ROMAN	SAN ROMAN	SAN ROMAN	
PUNO	PUNO	PUNO	
2111010001	2111010001	2111010001	
RPCM150097	RPCM150098	RPCM160020	

	Autorizado	Cierre de Atención	Cierre de Atención
	4	5	5
	SI	SI	SI
	SI	SI	SI
	Plaza principal		
	Buen a		
	ANDROID	OTRO	OTRO
	SM - G530M	[OTRO]	[OTRO]
	SAMSUNG	[OTRO]	[OTRO]
	Cliente indica que tiene lentitud en la navegación 2G/3G y 4G	En el centro de la ciudad de Juliaca no se notó inconvenientes en la comunicación en el día mencionado de la estadía.	No hubo problemas de comunicación durante el día mencionado en el mercado mencionado.
	CONDORI		
	MAMANI		
	PASCUAL HUMBERTO	Eli Alata Mamani	Eli Alata Mamani
	21/12/2016	19/05/2011	19/05/2011
	29/11/2016	16/05/2011	17/05/2011
	CLARO	CLARO	CLARO
	JULIACA	JULIACA	JULIACA
	JULIACA	JULIACA	JULIACA
	SAN ROMAN	SAN ROMAN	SAN ROMAN
	PUNO	PUNO	PUNO
	2111010001	2111010001	2111010001
	RPCM160402	RPCM110844	RPCM110845

ANEXO B APLICATIVOS MOVILES PARA, MONITOREO DE LA CALIDAD DE LA SEÑAL, COBERTURA.

Monitoreo de la señal por las zonas del centro comercial y zonas aledañas que corroboran la situación real de la señal y calidad de servicio que ofrece la tecnología 4G LTE en la ciudad de Juliaca: en primer lugar, los detalles mostrados en el aplicativo Network Cell Info Lite



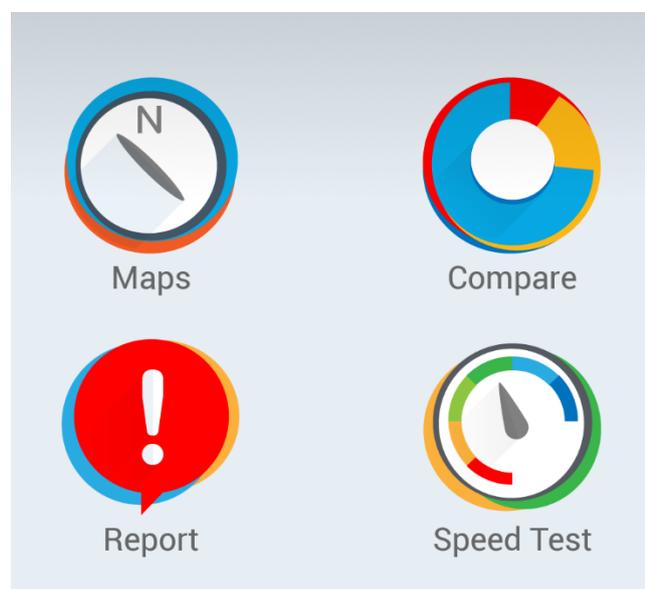
Elaboración Propia

La siguiente captura de pantalla nos muestra el historial del registro a la red 4G LTE en la ciudad de Juliaca mediante el aplicativo de Osiptel, donde se aprecia perdida de conexión en algunas zonas por problemas de densificación de la red, es donde se origina el estudio de este proyecto de tesis.

Event History	
Regained LTE 10:11 AM / Nov 22, 2018 152 Jirón Lima	LTE
Lost LTE 10:09 AM / Nov 22, 2018 @-15.4924, -70.1328	LTE
Regained LTE 10:08 AM / Nov 22, 2018 @-15.4923, -70.1323	LTE
Lost LTE 10:08 AM / Nov 22, 2018 @-15.4923, -70.1323	LTE
Regained LTE 10:08 AM / Nov 22, 2018 @-15.4925, -70.1327	LTE
Lost LTE 10:07 AM / Nov 22, 2018 @-15.4925, -70.1327	LTE
Regained LTE 10:04 AM / Nov 22, 2018 @-15.4923, -70.1324	LTE
Lost 3G	3G

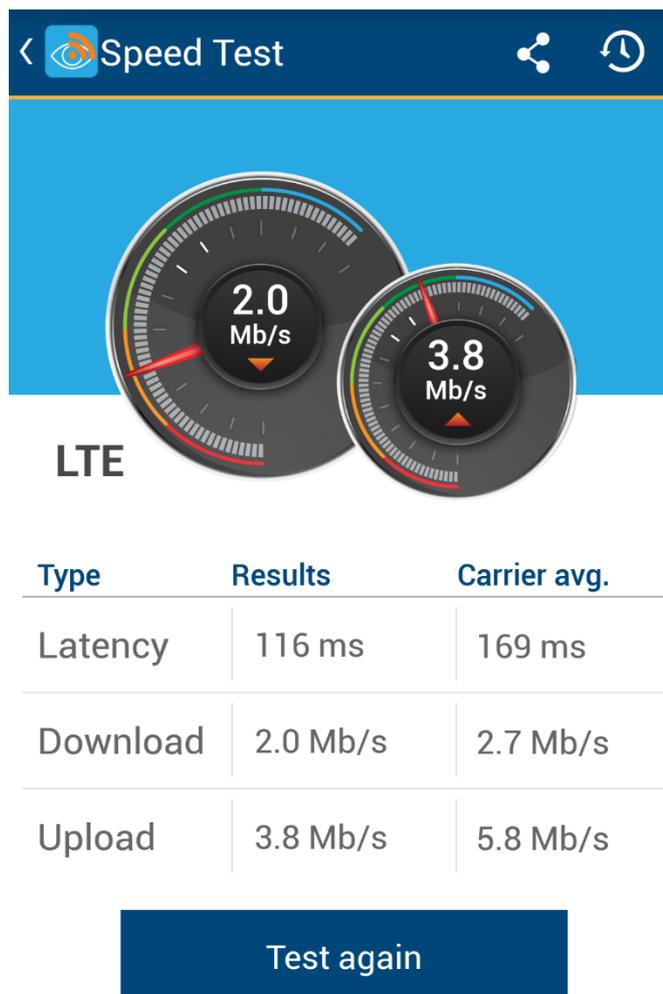
Elaboración Propia

La siguiente captura de pantalla corresponde al aplicativo de Osiptel denominado TeVeo y se muestra su interfaz para realizar las diferentes tareas como son: Mostrar el mapa del lugar, comparara las señales con otros operadores, enviar reportes de mala cobertura o algún inconveniente con el operador, y finalmente testeo de velocidad de descarga y subida de tal manera verificar si realmente la celda está cumpliendo su capacidad



Elaboración propia

La siguiente captura de pantalla nos muestra el testeo de velocidad de descarga y subida en un punto específico de la ciudad



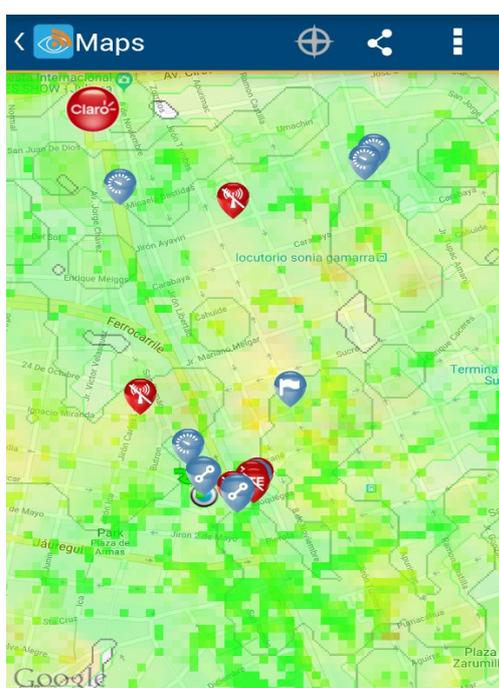
Elaboración Propia

La siguiente captura nos muestra el historial de las pruebas de velocidad mediante el aplicativo de Osiptel que nos muestra las tasas de transferencia en diferentes momentos.

Type	Date	Latency	Download	Upload
LTE	Nov 22, 2018 12:33 PM	116 ms	2.0 Mb/s	3.8 Mb/s
LTE	Nov 22, 2018 12:29 PM	460 ms	Connect	Test
LTE	Nov 22, 2018 12:27 PM	412 ms	Connect	Test
LTE	Nov 22, 2018 12:19 PM	131 ms	1.2 Mb/s	5.0 Mb/s
LTE	Nov 22, 2018 11:58 AM	130 ms	2.4 Mb/s	7.6 Mb/s
LTE	Nov 22, 2018 11:45 AM	143 ms	4.9 Mb/s	6.3 Mb/s
LTE	Nov 22, 2018 11:41 AM	127 ms	1.5 Mb/s	13.8 Mb/s
LTE	Nov 22, 2018 11:25 AM		Download	Failed
LTE	Nov 22, 2018 11:17 AM	120 ms	4.0 Mb/s	14.3 Mb/s

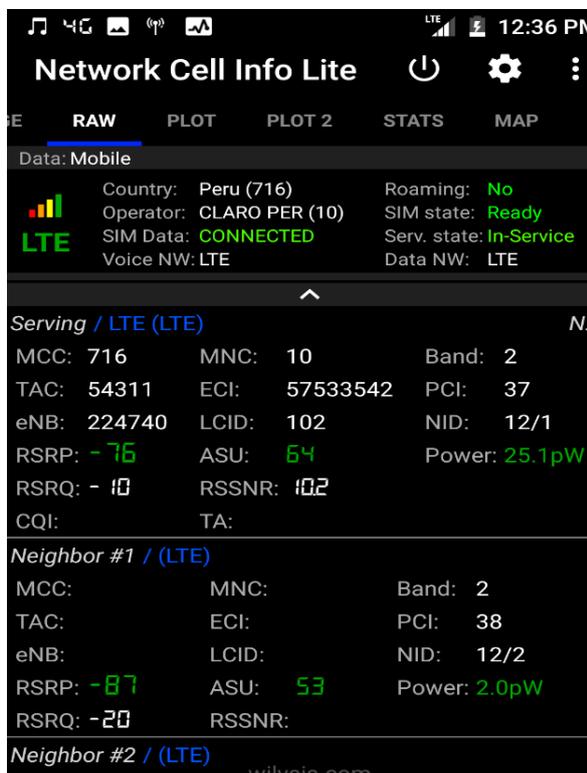
Elaboración Propia

La siguiente captura muestra el mapa de cobertura



Elaboración Propia

La siguiente captura nos muestra la celda registrada y sus vecinos para posibles Handover que se pueda ejecutar de acuerdo al desplazamiento del UE



Elaboración propia

La siguiente captura es del aplicativo G-NetTrack Lite donde muestra la identidad de la celda al que está registrado y sus parámetros

G-NetTrack Lite v8.1
Operator: CLARO PER
MCC:716 MNC:10 TAC:54311 Type:LTE
eNB:224632 CID:103 PCI:50 F:700 B:L2 TA:
RSRP:-67 RSRQ:-9 SNR:15.4 CQI:- RSSI:-63
Longitude:-70.13130 Latitude:-15.49668
Speed:4km/h GPS Accuracy:22m
Height:3880m Altitude:3880m Ground:0m
UL: 0 kbps DL: 0 kbps
Data: CLARO PER-LTE IDLE
Serving time: 23s

TIME	EVENT	AC	CELLID	CI	ARFCN	LEVEL	QUAL	TYPE	SERV
12:15:25	CR4G4G	54311	224728..	3	9435	-88	-12	4G	6
12:15:32	HD4G4G	54311	224740..	38	9435	-91	-12	4G	44
12:16:21	HD4G4G	54311	224728..	3	9435	-87	-11	4G	24
12:16:47	CR4G4G	54311	224740..	38	9435	-87	-14	4G	42
12:17:33	CR4G4G	54311	224740..	36	9435	-76	-12	4G	496
12:26:37	HD4G3G	5431	1003-4..	32	1062	-61	-	3G	37
12:27:18	HD3G4G	54311	224740..	36	700	-72	-10	4G	44
12:28:06	CR4G3G	5431	1003-4..	32	1062	-63	-	3G	68
12:29:23	CR3G4G	54311	224740..	36	700	-73	-8	4G	258
12:34:12	HD4G4G	54311	224740..	37	700	-71	-10	4G	42
12:34:58	CR4G4G	54311	224740..	36	700	-76	-12	4G	18
12:35:18	CR4G4G	54311	224740..	37	700	-67	-9	4G	128
12:37:40	HD4G4G	54311	224706..	42	700	-85	-10	4G	4
12:37:45	CR4G4G	54311	224740..	37	700	-85	-9	4G	10
12:37:56	CR4G4G	54311	224706..	42	700	-87	-10	4G	62

Elaboración propia

ANEXO C COORDENADAS DE LA UBICACIÓN DE LAS PEQUEÑAS CELDAS:

SITE	70°08'12.39" O	15°29'53.11" S
STATION 1	70°08'16.70" O	15°29'29.63" S
STATION2	70°07'56.28" O	15°29'32.40" S
STATION3	70°07'40.90" O	15°29'46.96" S
STATION4	70°07'47.70" O	15°30'05.31" S
STATION5	70°08'10.38" O	15°30'12.74" S
STATION6	70°08'36.17" O	15°29'56.54" S
STATION7	70°08'32.40" O	15°29'37.10" S

Elaboración Propia