



# **UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

### **TESIS**

**“MIGRACIÓN DE UNA ESTACIÓN BASE TRANSMISORA DE 3G A  
4G, COMO ALTERNATIVA PARA LA MEJORA DE TRÁFICO DE  
LLAMADAS Y DATOS, ESTACIÓN CLARO - LOCUMBA – TACNA”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**EDSON YAHIR IPANAQUE OTERO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**LIMA-PERÚ  
2018**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta Tesis a mi abuela Luzmila y a mi abuelo Segundo, por acompañarme y guiarme siempre, por su infinito amor y comprensión.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres Manuel y Rosa quienes me dieron la oportunidad de estudiar la carrera y por la preocupación de mi crecimiento tanto profesional como espiritual.

## RESUMEN

La presente Tesis tiene como objetivo mejorar el tráfico de llamadas y de datos que ofrece la estación base transmisora de la Empresa Claro a los habitantes de la población del distrito de Locumba de la provincia de Jorge Basadre, departamento de Tacna.

Inicialmente se realizará la migración de la estación base transmisora de tecnología 3G a 4G, mediante los siguientes procedimientos: Trabajos previos al cutover, Swap de Antenas y Swap de Equipos, el cual tiene como finalidad soportar el tráfico de llamadas y de datos, a los más de 31,426 habitantes de la población del distrito de Locumba en Tacna.

Con el procedimiento propuesto se logró mejorar el tráfico de llamadas siendo el valor obtenido de 4000 llamadas/minuto, así también se redujo el tiempo de descarga y carga de datos de la estación base transmisora de la empresa Claro, ubicada en el distrito de Locumba, Departamento de Tacna, determinando que el costo inversión para la migración de tecnología es de S/. 82,065.37.

## **ABSTRACT**

The objective of this thesis is to improve the traffic of calls and data offered by the transmitting base station of the Claro Company to the inhabitants of the population of the Locumba district of the province of Jorge Basadre, department of Tacna.

Initially the migration of the transmitting base station of technology from 3G to 4G was carried out, by means of the following procedures: Pre-cutting work, Antennas change, and Equipment change, which has the purpose of the traffic of calls and data, to the most of 31,426 inhabitants of the population of the district of Locumba in Tacna.

With the proposed procedure, the call traffic with the obtained value of 4000 calls / minute was achieved, also the download time and data load of the transmitting base station of the company Claro, in the district of Locumba, Department of Tacna, was reduced, the investment cost for technology migration is S /. 82,065.37.

## INTRODUCCIÓN

Las tecnologías en las comunicaciones han surgido y evolucionado a fin de satisfacer las crecientes expectativas de las empresas y los usuarios finales. La capacidad de comunicarse con personas en movimiento ha evolucionado con entusiasmo y fue adoptada por personas de todo el mundo, es así como los operadores móviles deben continuar centrándose en la calidad de la experiencia de los usuarios. Los cambios en las comunicaciones móviles siempre han sido evolutivos, los operadores de telefonía móvil deben buscar estrategias y soluciones que mejoren sus redes existentes.

Las redes de telefonía celular actualmente están siendo diseñadas para proporcionar un gran ancho de banda, con una eficiente red de radio, reduciendo la latencia y mejorando la capacidad interconexión del usuario. Esta combinación tiene como objetivo mejorar la interacción del suscriptor con la red y acelerar aún más la demanda de servicios multimedia móviles.

Por ejemplo, la tecnología 4G LTE beneficia a los operadores de red permitiéndoles admitir más clientes y dispositivos mientras mantienen menos torres. Las velocidades incomparables de descarga y carga hacen que las empresas vean esta generación de redes como una plataforma clave para su crecimiento.

Cabe señalar que las redes 4G brindan capacidades que carecen las redes 3G, como la transmisión de grandes cantidades de datos a través de servicios de video.

Los servicios de datos avanzados que proporciona 4G permiten que los consumidores realicen las tareas de manera tan eficiente en un dispositivo inteligente como si estuvieran conectados a la banda ancha en su hogar u oficina. En general, 4G hace que el funcionamiento en un dispositivo inteligente sea más eficiente, y permite el acceso rápido de medios robustos.

En ese sentido en la presente tesis se pretende mejorar el tráfico de llamadas y de datos que ofrece la estación base transmisora de la Empresa Claro.

## TABLA DE CONTENIDOS

CARÁTULA	
DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
RESUMEN .....	4
ABSTRACT .....	5
INTRODUCCIÓN .....	6
TABLA DE CONTENIDOS .....	8
CAPÍTULO I: GENERALIDADES .....	10
1.1 Antecedentes de la Empresa Claro SAC .....	11
1.2 Perfil de la Empresa Claro SAC .....	12
1.3 Actividades de la Empresa Claro SAC .....	13
1.3.1 Misión.....	13
1.3.2 Visión .....	13
1.3.3 Objetivo .....	13
1.4 Organización Actual de la Empresa Claro SAC .....	13
1.5 Descripción del entorno de la Empresa Claro SAC .....	15
1.5.1 Entorno General.....	15
1.5.2 Entorno Competitivo.....	15
CAPÍTULO II: REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	17
2.1 Descripción de la Realidad Problemática .....	18
2.2 Definición del Problema .....	18
2.3 Objetivos del Proyecto .....	19
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO.....	20
3.1 Antecedentes Bibliográficos.....	21
3.2 Bases Teóricas .....	23
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL PROYECTO .....	42
4.1 Descripción y desarrollo del Proyecto.....	43
4.1.1 Descripción del Proyecto .....	43
4.1.2 Desarrollo de la Propuesta.....	51
4.1.3 Interpretación de Resultados .....	54



4.2 Conclusiones .....	60
4.3 Recomendaciones .....	61
CAPÍTULO V: REFERENCIAS .....	62
5.1 Bibliografía.....	63
5.2 Direcciones Web.....	65
CAPÍTULO VI: GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	66
6.1 Glosario de Términos .....	67
CAPÍTULO VII: ÍNDICES .....	69
7.1 Índices de Gráficos .....	70
7.2 Índices de Figuras .....	71
7.3 Índices de Tablas.....	73
CAPÍTULO VIII: ANEXOS .....	74
ANEXO 1.....	75

**CAPÍTULO I**  
**GENERALIDADES**

## 1.1 Antecedentes de la Empresa Claro SAC

Claro Perú es subsidiaria de América Móvil S.A.B. de C.V. y opera en el país desde el 10 de agosto de 2005, debido a la adquisición del 100% de acciones de la que fuera TIM Perú S.A.C. América Móvil es el grupo líder en el sector de telecomunicaciones móviles de América Latina y el cuarto más grande del mundo en términos de suscriptores proporcionales.<sup>1</sup>

El 10 de mayo de 2005, América Móvil adquirió una licencia PCS 1900 MHz para proporcionar servicios de comunicaciones personales en Perú bajo la marca Sercotel Perú. El 10 de agosto de ese mismo año, América Móvil anuncia la adquisición de TIM Perú, y el 11 de octubre lanza la marca Claro. Perú, en ese entonces, se vuelve el primer país en donde Claro es lanzado dentro del mercado extranjero.

En abril de 2008, se convierte en la primera empresa dentro del país en lanzar el servicio de internet móvil 3G, usando la tecnología HSDPA en la banda de 850MHz a una velocidad de hasta 1,5 Mbits.

El 1 de octubre de 2010, la compañía se fusiona con la filial peruana de Teléfonos de México (Telmex). El director comercial de América Móvil, Rodrigo Arosemena, confirmó el inicio del proceso de adquisición. Claro absorbe la empresa y sus productos, y las distribuye bajo su propia marca. La compañía de telecomunicaciones fue la segunda empresa, después de Movistar Perú, en

---

<sup>1</sup> Fuente: <http://www.claro.com.pe/institucional/sobre-nosotros/>

lanzar el servicio móvil 4G LTE el 15 de mayo de 2014. En ese entonces, sólo estaba disponible para Lima Metropolitana. Desde su formación, en septiembre del 2000, Claro ha expandido con éxito y solidez su presencia a 18 países del continente americano. Ha impulsado una fuerte aceleración en el crecimiento de suscriptores y, por consiguiente, de penetración en casi todos los países donde opera.

Actualmente cuenta con:

- Operaciones en 18 países del continente americano.
- Operaciones en 7 países de Europa.
- Más de 289 millones de clientes celulares.
- Más de 34 millones de líneas fijas.
- 22.5 millones de accesos de banda ancha.
- Más de 21 millones de suscriptores de televisión.

## **1.2 Perfil de la Empresa Claro SAC**

Claro Perú pertenece al Grupo América Móvil, S.A.B. de C.V., empresa líder en servicios integrados de telecomunicaciones en Latinoamérica. El despliegue de nuestra plataforma de comunicaciones permite ofrecer a nuestros clientes un portafolio de servicios de valor agregado y soluciones de comunicación mejoradas en 25 países de América y Europa.<sup>2</sup>

La empresa Claro está identificada con RUC N° 20467534026, con razón social: América Móvil Perú S.A.C. y está ubicada legalmente en la Avenida

---

<sup>2</sup>Fuente: <http://www.claro.com.pe/institucional/centro-de-prensa/roaming-paises-claro-reduce-costos-de-comunicacion-en-16-paises-de-latinoamerica/>

Nicolás Arriola N° 480 perteneciente a la Urbanización Santa Catalina en el distrito de La Victoria – Lima – Perú.

### **1.3 Actividades de la empresa Claro SAC**

#### **1.3.1 Misión**

Proveer servicios de telecomunicaciones con la más alta calidad, más amplia cobertura y constante innovación para anticiparnos a las necesidades de comunicación de nuestros clientes; generar el mayor bienestar y desarrollo personal y profesional de nuestros trabajadores, proporcionar bienestar y desarrollo a la comunidad y exceder los objetivos financieros y de crecimiento de nuestros accionistas.<sup>3</sup>

#### **1.3.2 Visión**

Ser la empresa líder en telecomunicaciones en el Perú.

#### **1.3.3 Objetivo**

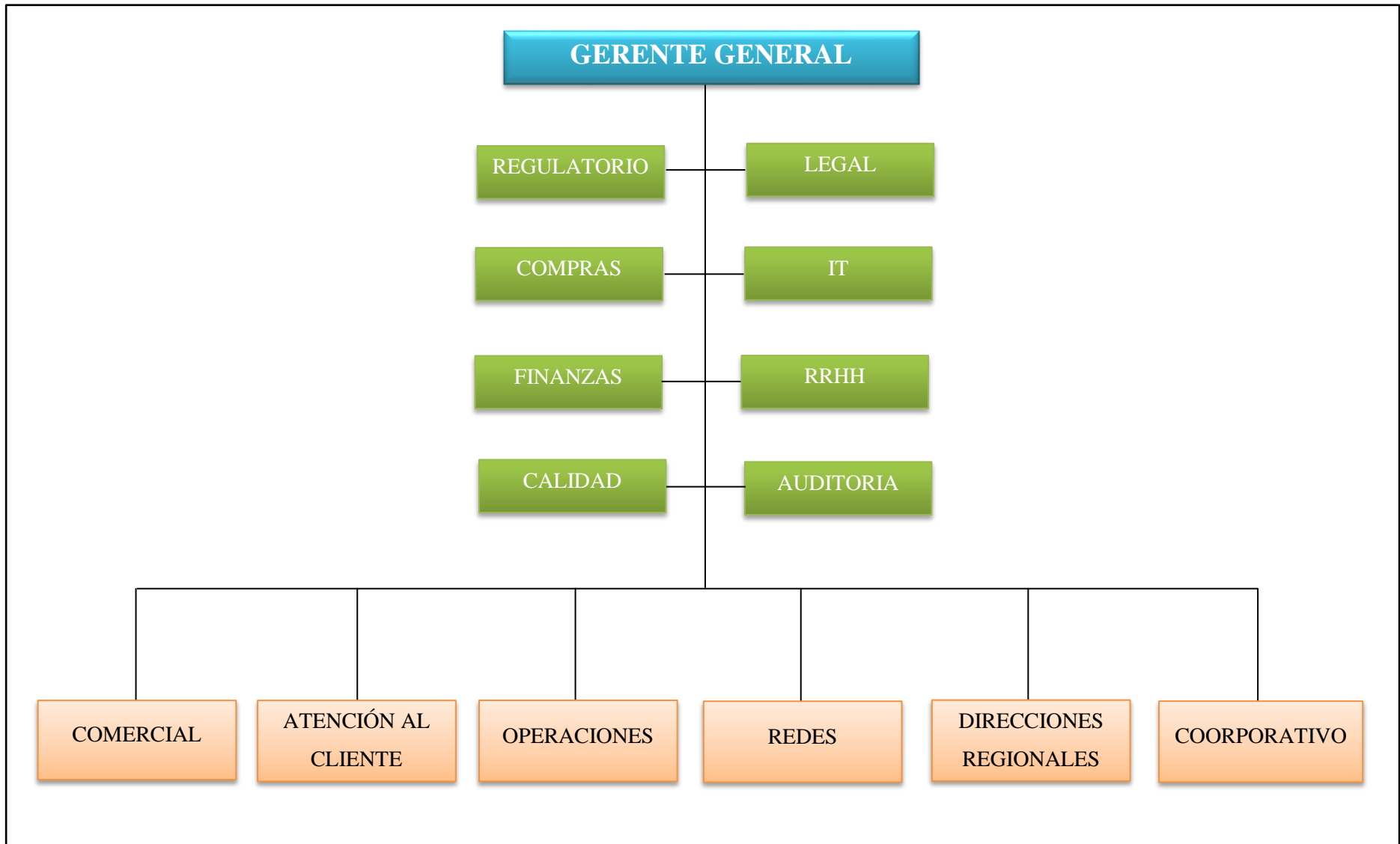
Ofrecer a nuestros clientes una red de alta calidad y amplia cobertura en los 24 departamentos del Perú, para generar oportunidades de crecimiento a través de los servicios de telecomunicaciones que ofrecemos, ha sido desde el inicio de nuestras operaciones en el país nuestro principal compromiso.

### **1.4 Organización Actual de la Empresa Claro SAC**

La organización de la empresa se representa en el siguiente gráfico.

---

<sup>3</sup>Fuente: <http://www.claro.com.pe/institucional/sobre-nosotros/>



**Gráfico N° 01:** Organigrama de la Empresa Claro  
Fuente:

<http://claro.com.pe>

## **1.5 Descripción del Entorno de la Empresa Claro SAC**

### **1.5.1 Entorno general**

Para los usuarios que requieren el servicio de telecomunicaciones, Claro es la empresa que ofrece el mayor portafolio de productos y servicios porque posee la mayor red de 45 puntos de venta y la mejor cobertura. Se establece que a futuro el cambio deberá ser a la empresa que nos ofrece el mejor servicio de atención Postventa La penetración móvil seguirá creciendo en la medida en que se pueda tener más infraestructura. Esperamos seguir creciendo en telefonía fija.<sup>4</sup>

Actualmente en el Perú existe una penetración de 80% de celulares sobre la población nacional urbana entre 12 y 70 años (18 millones de personas). Esto nos da como resultado un total de 12 millones de equipos celulares en el mercado peruano.

### **1.5.2 Entorno competitivo**

Actualmente la competencia en el mercado de telefonía Móvil se ha visto incrementado desde el Ingreso de dos nuevos Operadores al país, en este caso con el ingreso de Viettel Perú, comercialmente conocida como Bitel y con el lanzamiento de la marca Entel, anteriormente conocida como Nextel. Tras el ingreso de las nuevas operadoras Bitel y Entel (ex Nextel) al mercado peruano, con ofertas interesantes para los clientes, Movistar y Claro, compañías que

---

<sup>4</sup> Fuente: <http://www.claro.com.pe/institucional/centro-de-prensa/claro-internet-fijo-mas-rapido-del-peru/>

controlan el mercado nacional de telefonía móvil, respondieron con ofrecimientos que buscan evitar una migración masiva de sus clientes.<sup>5</sup>

En el caso de los proveedores, estos pueden jugar un papel muy relevante en el funcionamiento de la Compañía, Depende de varios fabricantes y proveedores para obtener los aparatos telefónicos, el equipo de red y los servicios que requiere para efectos de su crecimiento y sus operaciones, incluyendo Apple, Nokia, Sony, Motorola, LG, Samsung, Cisco, Alcatel-Lucent, Huawei, entre otras.

---

<sup>5</sup> Fuente: <https://elcomercio.pe/noticias/telefonía-movil>



**CAPÍTULO II**  
**REALIDAD PROBLEMÁTICA**

## **2.1 Descripción de la realidad problemática**

La estación base transmisora de la Empresa Claro, ubicada en el distrito de Locumba, departamento de Tacna, actualmente está implementada con tecnología 3G, la cual presenta una capacidad limitada de acceso de llamadas telefónicas a los casi 31,426 habitantes de la población, evidenciándose disconformidad en el servicio proporcionado por la empresa operadora, ya que, al trabajar actualmente solo en la banda de 850 MHz, no permite soportar el alto tráfico de llamadas durante las horas punta.

A pesar de que el área de cobertura ha aumentado, aún existe déficit a la hora de soportar el tráfico de llamadas y datos, y es que, debido al incremento de usuarios potenciales en el uso de los servicios proporcionados por la empresa Claro, se evidencia una deficiente conectividad, baja calidad de llamadas, y velocidad de carga y descarga de datos lentos en relación con el servicio de internet.

## **2.2 Definición del Problema**

### **2.2.1 Problema General**

¿Cómo mejorar el tráfico de llamadas y datos de la estación base transmisora de la empresa Claro, ubicado en el distrito de Locumba, Departamento de Tacna?

### **2.2.2 Problemas Específicos**

- ¿Cuál es el procedimiento para realizar la migración de una estación base transmisora de 3G a 4G, de la empresa Claro, ubicada en el distrito de Locumba, departamento de Tacna?
- ¿Cuál es el costo para realizar el procedimiento de migración de una estación base transmisora de 3G a 4G, de la empresa Claro, ubicada en el distrito de Locumba, departamento de Tacna?

## **2.3 Objetivos del Proyecto**

### **2.3.1 Objetivo General**

Desarrollar una optimización en la mejora de llamadas y datos mediante una migración de una estación base transmisora de 3G a 4G, de la empresa Claro, ubicada en el distrito de Locumba, Departamento de Tacna.

### **2.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar el procedimiento para realizar la migración de una estación base transmisora de 3G a 4G, de la empresa Claro, ubicada en el distrito de Locumba, departamento de Tacna.
- Calcular el costo para realizar el procedimiento de migración de una estación base transmisora de 3G a 4G, de la empresa Claro, ubicada en el distrito de Locumba, departamento de Tacna.

**CAPÍTULO III**  
**MARCO TEÓRICO**

### **3.1 Antecedentes Bibliográficos**

Hurtado, C. (2011), en su tesis titulada “Estudio de factibilidad para la implementación de LTE (Long Term Evolution) en el Ecuador”, en la Escuela de Pregrado de la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador, concluye que: “LTE responde de manera eficiente frente a los requerimientos de nuevos servicios como el internet móvil, video conferencia, juegos on line, debido a que presenta baja latencia, velocidades altas de conexión y eficiencia espectral. Desde el punto de vista de mercado es factible para los operadores realizar una inversión en la tecnología LTE, ya que existe un crecimiento vertiginoso de usuarios de telefonía móvil, por lo tanto, existe un aumento de tráfico, además de una expectativa hacia la aparición de nuevos servicios y aplicaciones”.

León, R. (2007), en su tesis titulada “Propuesta de migración hacia una red de telefonía celular de 4G”, en la Escuela de Pregrado de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo de México, concluye que: “Con esta investigación llegamos a la conclusión de que las empresas dedicadas al servicio de telefonía celular pueden implementar la llamada 4 generación de telefonía celular en México, antes de los tiempos establecidos, para minimizar la demora tecnológica, entrando a un mercado poco explotado con el auge del internet móvil”.

Analuisa, J. (2014), en su tesis titulada “Diseño de una red 4G Long Term Evolution (LTE) en redes móviles”, en la Escuela de Pregrado de la Universidad Técnica de Ambato de Ecuador, concluye que: “Se identificó

elementos de una red LTE que hacen posible que esta nueva tecnología pueda coexistir con redes de telefonía móvil existentes permitiendo así a los usuarios utilizar redes GSM y LTE utilizando un solo dispositivo móvil. Se concluye que el utilizar un modelo de propagación acorde a la frecuencia y entorno de desarrollo del sistema permite obtener una estimación del funcionamiento de la red de acceso inalámbrico”.

Zambrano, P. (2015), en su tesis titulada “Análisis del impacto de la migración 3G a 4G en la modernización de los equipos de telecomunicaciones utilizados en radiobases por las operadoras móviles en el Ecuador”, en la Escuela de Pregrado de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil de Ecuador, concluye que: “La arquitectura de red plana que utiliza la tecnología LTE permite que sea considerada como una solución viable para los problemas de capacidad y conectividad, ya que esta ofrece altas tasas de velocidad en transmisión lo que a su vez permite también la interoperabilidad con otras redes. La migración hacia nuevas tecnologías es trascendental para el progreso tecnológico de una sociedad, por eso distintos fabricantes de reconocimiento mundial están desarrollando equipos que se utilizan en las radiobases de operadoras móviles de tal forma que permitan que esta migración y modernización se realice eficazmente, de manera que admita la coexistencia con otras tecnologías y satisfaga no solo al usuario sino también a las operadoras móviles”.

Navarro, J. (2008), en su tesis titulada “Evolución de 3G y su convergencia a 4G en comunicaciones móviles”, en la Escuela de Pregrado de la Universidad

Austral de Chile, concluye que: “El punto más atractivo de la 4G es la integración de las redes, con lo que desaparecería la frontera entre una red y otra, esto beneficia a los usuarios ya que tendrán una conexión always on, sin notar que en su movilidad cambia constantemente de tecnologías de acceso, adoptando la que le brinda mayor QoS en el momento. Con esto, el usuario tendrá servicios en cualquier sitio a cualquier hora y se espera que a un costo accesible que permita un camino progresivo a estas tecnologías”.

Nuñez, J. (2013), en su tesis titulada “Diseño de una red de nueva generación LTE-A para una zona urbana en Bogotá bajo el estándar 3gpp y la recomendación ITU-R M.1457”, en la Escuela de Pregrado de la Universidad Nacional de Colombia, concluye que: “La característica más relevante de la Tecnología LTE-A entre muchas otras es el reúso de las frecuencias, permitiendo optimizar de la mejor manera el espectro radioeléctrico en el cual opere, el cual permite ofrecer las mejores condiciones de transmisión, eficiencia y confiabilidad en los servicios”.

## **3.2 Bases Teóricas**

### **3.2.1 Redes Móviles**

Según Tomasi, Cuarta Edición (2003). Los primeros sistemas comerciales eran simples, y se requirió la presencia del operador para conectar las llamadas. En el caso de llamadas desde móviles, el cliente tenía que buscar un canal libre manualmente.

Laboratorios Bell fueron los primeros en introducir el concepto celular como se lo conoce hoy en día. Ellos demostraron como el sistema celular podía ser diseñado, en diciembre de 1971.

#### **A. Primera Generación**

Según Tomasi, Cuarta Edición (2003) cuando la telefonía móvil se estrenó en los años 80's, los equipos solo servían para llamar y ofrecía velocidades de 14.4kbps, esa fue la primera generación de redes móviles. Si bien utilizaba para su operatoria el sistema digital para conectar las Radiobases al resto del sistema de telefonía, 1G era analógica, y bastante rudimentaria, ya que además de depender de dispositivos externos como módems para realizar las conexiones de subida y bajada de datos, estos sólo se realizaban a tasas de descarga de hasta 10 Kb/s.

En este sentido, esta tecnología, y por ende también los dispositivos que la usaban sufrían muchos problemas relacionados con la compatibilidad, debido principalmente a inconvenientes surgidos por la falta de normalización y estandarización de estas primeras redes celulares por parte de las empresas operados de telefonía, que querían imponer su sistema aun a costa de la imposibilidad de comunicarse de sus usuarios con otros clientes de una compañía diferente. Cabe destacar que esta tecnología continuó largo tiempo luego de la implementación de la tecnología 2G, completamente digital.



## **B. Segunda Generación**

Según Tomasi, Cuarta Edición (2003) el Sistema Global de Comunicaciones Móviles, también conocido como 2G o GSM (Sistema Global de Comunicaciones Móviles), fue el protocolo encargado de estandarizar y proporcionar un marco de compatibilidad a las conexiones móviles. Si bien se comenzó a desarrollar en 1982 por un consorcio de empresas europeas, las primeras implementaciones del protocolo vieron la luz a principios de la década de los 90.

Sin duda alguna, entre las mejores características de GSM se encuentra la velocidad de transferencia, mucho más alta que 1G, alcanzando hasta los 97 Kb/s teóricos. También con GSM se hizo realidad el sistema de SMS, la posibilidad de enviar y recibir correo electrónico y navegar por Internet, entre otros. Entre la segunda y tercera generación, aparecieron varias tecnologías como GPRS (Servicio General de Paquetes Vía Radio) y EDGE, aumentando las velocidades de datos desde 144kbps hasta 384kbps por celda y permitiendo a los usuarios navegar por internet o descargar imágenes desde sus dispositivos móviles.

## **C. Tercera Generación**

Según Huidobro, Cuarta Edición (2006) con la tercera generación (3G) es cuando realmente llega la banda ancha móvil con tecnologías como WCDMA y CDMA2000/EVDO, las personas

desde 6 sus teléfonos comienzan a descargar audio, video, imágenes, etc. La tercera generación siguió evolucionando con tecnologías como HSPA (Acceso por paquetes de alta velocidad) (3.5G o 3G+), permitiendo velocidades máximas por celda aún mayores entre 7.2 y 14.4 Mbps.

Hoy en día, los operadores siguen actualizando sus redes con tecnologías HSPA+ para ofrecer velocidades máximas por celda de 21Mbps con una portadora o 42Mbps con dos portadoras, e inclusive pudieran llegar a 84Mbps con doble sistema de antenas (MIMO2x2), en la práctica, la mayoría implementa solo los 21Mbps o hasta 42Mbps si tienen espectro suficiente. Con estas velocidades por celda, un usuario puede experimentar en promedio entre 2 y 4Mbps, similares a las conexiones fijas que se tienen en su hogar u oficina.

La tecnología 3G propone una mejor calidad y fiabilidad, una mayor velocidad de transmisión de datos y un ancho de banda superior. Con velocidades de datos de hasta 384Kbps, es casi siete veces más rápida que una conexión telefónica estándar. La International Telecommunication Union (ITU) definió las demandas de redes 3G con el estándar IMT-2000.

Este estándar se desarrolló mediante un sistema móvil llamado UMTS (Universal Mobile Telephone System), este a su vez está

desarrollado a partir de W-CDMA (Acceso Múltiple por División de Códigos de Banda Ancha), que es una tecnología móvil inalámbrica que aumenta las tasas de transmisión de datos de los sistemas GSM utilizando la interfaz aérea CDMA (Acceso múltiple por división de código) en lugar de TDMA (Time División Múltiple Access), es por ello por lo que 3G ofrece velocidades muchos más altas de datos en aparatos inalámbricos portátiles.

También UMTS se define como un sistema por capas. La capa de más arriba es la capa de servicios y como su nombre lo señala se encarga de los servicios, de su despliegue en forma rápida; en el centro se encuentra la capa de control que se preocupa de ayudar a la mejora de los procedimientos y permite que la capacidad de la red sea dinámica; en la zona más baja se encuentra la capa de conectividad, la que tiene como labor la transmisión de datos y tráfico de voz.

#### **D. Cuarta Generación**

Según Korowajczuk, Primera Edición (2011) LTE o Long Term Evolution, 4G es el estándar de comunicaciones móviles más moderno que existe, es la última tecnología actual introducida al país, encontramos sobre el camino evolutivo de 3GPP en su Reléase 8, la introducción de la tecnología LTE (Evolución a Largo Plazo), que permite llegar a velocidades máximas teóricas mayores a los 120Mbps por celda utilizando un canal de espectro

de 20MHz y aplicando técnicas de modulación más eficientes. En la práctica, los usuarios de las redes comerciales LTE alcanzan entre 10 y 20Mbps de velocidad promedio.

### **3.2.2 Introducción a redes de Cuarta Generación 4G**

Según Korowajczuk, Primera Edición (2011) La G representa una generación de la tecnología móvil, instalada en móviles y en las redes celulares. Cada G por lo general requiere que el usuario obtenga un nuevo teléfono, y en el caso de las operadoras móviles requiere hacer costosas actualizaciones en sus redes. Las nuevas generaciones traen nuevas tecnologías de base, más capacidad de la red de más datos por usuario, y también el potencial para una mejor calidad de voz.

La captación global de la tecnología entre los consumidores y las empresas se está acelerando, lo que indica un crecimiento continuo del tráfico de redes móviles de alta velocidad en todo el mundo. Con el fin de satisfacer las continuas demandas de crecimiento de tráfico, se ha desarrollado un nuevo estándar para la evolución de la tecnología 3G hacia un sistema de paquetes optimizado denominado Evolución a Largo Plazo por sus siglas en inglés (LTE, Long Term Evolution). La tecnología 4G se basará en un ambiente completamente IP, eliminando cableados, redes, configuraciones técnicas manuales, alcanzando velocidades de 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo.

#### **A. Técnicas de LTE**

Según Korowajczuk, Primera Edición (2011) para la mayoría, LTE es una tecnología de red más rápida, para los operadores de redes de todo el mundo, es una manera de simplificar sus infraestructuras para reducir los costos y mejorar la calidad de sus ofertas a los suscriptores. Los anuncios de los operadores de redes lo declaran como la "más avanzada" tecnología de red. Al final, se trata de Evolución a Largo Plazo del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS). LTE no está basado en WCDMA al igual que UMTS, el método de acceso designado es OFDMA en el downlink y en el uplink el método de acceso usado es SC-FDMA, lo que proporciona ortogonalidad entre los usuarios, mejorando la capacidad de la red y reduciendo la interferencia.

Algunas de las técnicas más relevantes son las siguientes:

- **OFDM**

Según Herrera, Primera Edición (2004), Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, es una técnica de modulación que consiste en enviar varias ondas portadoras simultáneamente en frecuencias distintas, espaciadas de tal forma que no causan interferencia unas en otras.

En el enlace descendente se usa la técnica de acceso múltiple denominada OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) y para el enlace ascendente, la técnica

denominada CS-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access).

- **OFDMA**

Según Herrera, Primera Edición (2004) la técnica de acceso múltiple OFDMA que se utiliza en el enlace descendente en el sistema LTE ofrece la posibilidad de que los diferentes símbolos modulados sobre las subportadoras pertenezcan a usuarios distintos. Por tanto, es posible acomodar varias transmisiones simultáneas correspondientes a diferentes flujos de información al viajar en subportadoras diferentes. Se consigue que un conjunto de usuarios pueda compartir el espectro de un cierto canal para aplicaciones de baja velocidad.

El acceso múltiple se consigue dividiendo el canal en un conjunto de subportadoras que se reparten en grupos en función de la necesidad de cada uno de los usuarios. El sistema se realimenta con las condiciones del canal, adaptando continuamente el número de subportadoras asignadas al usuario en función de la velocidad que éste necesita y de las condiciones del canal. Si la asignación se hace rápidamente, se consigue cancelar de forma eficiente las interferencias co-canal y los desvanecimientos rápidos.

- **SC-FDMA**

Según Herrera, Primera Edición (2004) Acceso Múltiple por División de Frecuencias de Portadora Simple en el sistema LTE se ha optado por utilizar la técnica OFDMA para el enlace descendente porque en la estación base se quieren técnicas que incrementan la complejidad computacional para reducir el PAPR de la señal OFDMA, y no es tan crítica la eficiencia ni el coste de los amplificadores de potencia.

En el terminal del usuario sí que es crítico reducir el consumo de potencia y conseguir por lo tanto una gran eficiencia en el amplificador, por lo que se ha optado por una técnica de acceso de portadora única. SC-FDMA se basa en unos principios de transmisión muy similares a los de OFDM, pero en este caso se efectúa una precodificación de los símbolos que se van a transmitir previa al proceso de transmisión OFDM, lo que nos permitirá reducir las variaciones en la potencia instantánea.

- **MIMO**

Según Herrera, Primera Edición (2004) el sistema MIMO utiliza múltiples antenas tanto para recibir como para transmitir. Una transmisión de datos a tasa elevada se divide en múltiples tramas más reducidas, cada una de ellas se modula y transmite a través de una antena diferente en un momento determinado, utilizando la misma frecuencia de canal que el resto de las antenas.

Debido a las reflexiones por multitrayecto, en la recepción la señal a la salida de cada antena es una combinación lineal de múltiples tramas de datos transmitidas por cada una de las antenas en que se transmitió. Las tramas de datos se separan en el receptor usando algoritmos que se basan en estimaciones de todos los canales entre el transmisor y el receptor.

Además de permitir que se multiplique la tasa de transmisión (al tener más antenas), el rango de alcance se incrementa al aprovechar la ventaja de disponer de antenas con diversidad. La teoría de la capacidad inalámbrica extiende el límite del teorema de Shannon, en el caso de la utilización de esta tecnología.

Este resultado teórico prueba que la capacidad de transmisión de datos y rango de alcance de los sistemas inalámbricos MIMO se puede incrementar sin usar más espectro de frecuencias. Este aumento es de carácter indefinido, simplemente utilizando más antenas en transmisión y recepción. MIMO requiere la existencia de un número de antenas idéntico a ambos lados de la transmisión, por lo que en caso de que no sea así, la mejora será proporcional al número de antenas del extremo que menos antenas tenga.

## **B. Arquitectura de Red de LTE**



Según Millán, Primera Edición (2014) en las especificaciones se denomina a la arquitectura del sistema LTE como Evolved Packet System (EPS), la idea es la misma que en las otras generaciones, dividir el sistema en los tres elementos mencionados anteriormente.

Un equipo de usuario, una nueva red de acceso que denominaremos E-UTRAN y una red troncal que denominaremos EPC. Todos los componentes que engloban este sistema están diseñados para soportar todo tipo de servicios de telecomunicación mediante mecanismos de conmutación de paquetes, por lo que no es necesario disponer de un dispositivo que trabaje en modo circuito, ya que en el sistema LTE los servicios con restricciones de tiempo real se soportan también mediante conmutación de paquetes. LTE contempla el acceso a sus servicios a través de UMTS y GSM.

También mediante otras redes de acceso como CDMA2000, Mobile WiMAX, redes 802.11, etc.) La red física que se utiliza en LTE para interconectar todos los equipos de la red, que se denomina red de transporte, es una red IP convencional. En la infraestructura de red LTE aparte de los equipos que realizan las funciones específicas del estándar, también habrá elementos de la red propios de redes IP como routers, servidores DHCP, servidores de DNS, switches, etc.

- **Red de Acceso evolucionada: E-UTRAN**

Según Millán, Primera Edición (2014) en E-UTRAN la única entidad de red de en dicha red es la estación base, que en esta generación denominamos evolved NodeB (eNB). Esta estación base integra todas las funcionalidades de la red de acceso. Esto representa un cambio respecto a las anteriores generaciones, GSM y UMTS, ya que, en éstas, la red de acceso contenía además de las estaciones base (BTS y NodoB), un equipo controlador (BSC y RNC).

En la red de acceso E-UTRAN, al estar formada únicamente por estaciones base eNB, éstas serán los que proporcionen la conectividad entre los usuarios y la red troncal EPC. El eNB tiene tres interfaces para comunicarse con los usuarios, con la red troncal y con otro eNB. E-UTRAN Uu es la interfaz radio que comunica al usuario con la estación base utilizando el canal radio, todas las funciones y protocolos que se necesitan para realizar el envío de datos y controlar la interfaz se implementa en la eNB. A la red troncal se comunica a través de la interfaz S1, que a su vez se divide en otras dos, la S1-MME, que se utiliza para el plano de control y S1-U para el plano de usuario.

El plano de usuario se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de usuario a través de dicha interfaz. El plano de control se refiere a la torre de protocolos

necesaria para sustentar las funciones y procedimientos necesarios para gestionar la interfaz. Esta separación entre las entidades de red, una dedicada al plano de usuario y otra al de control, nos permite dimensionar de forma independiente los recursos de transmisión necesarios para el soporte de la señalización del sistema y para el envío del tráfico de los usuarios.

La otra interfaz que existe es la X2, que se utiliza para conectar los eNBs entre sí. Gracias a esta interfaz se pueden intercambiar tanto mensajes de señalización, destinados a permitir una gestión más eficiente de los recursos radio, así como el tráfico de los usuarios del sistema cuando estos se desplazan de un eNB a otro en el momento de un traspaso (handover).

- **Red troncal de paquetes evolucionada: EPC**

Según Millán, Primera Edición (2014) esta red ha sido concebida para proporcionar un servicio, como decíamos en la introducción, “all-IP”, es decir conectividad IP. El núcleo de la red troncal EPC está formado por tres entidades de red, MME (Mobility Management Entity), Serving Gateway (S-GW) y el Packet Data Network Gateway (P-GW), que, junto a la base de datos principal del sistema denominada HSS (Home Subscriber Server), constituyen los elementos principales para la prestación

del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados al sistema a través de la red de acceso E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC.

Definimos a continuación cada una de estas entidades de red:

➤ **MME**

Según Millán, Primera Edición (2014) es el elemento principal del plano de control de la red LTE para gestionar el acceso de los usuarios a través de E-UTRAN. Todo terminal que se encuentre registrado en la red LTE y sea accesible a través de E-UTRAN, tiene una entidad MME asignada. Esta elección de MME se realiza dependiendo de varios aspectos tales como la ubicación geográfica del terminal en la red, así como a criterios de balanceo de cargas.

➤ **S-GW**

Según Huidobro, Cuarta Edición (2010) es la pasarela del plano de usuario entre E-UTRAN y la red troncal EPC. Igual que en la entidad MME, todo usuario registrado en la red LTE tiene asignado una entidad S-GW en la red EPC a través de la cual transcurre su plano de usuario.

➤ **PDN Gateway (P-GW)**

Según Huidobro, Cuarta Edición (2010) es la encargada de proporcionar conectividad entre la red LTE y las redes externas. Por lo tanto, un paquete IP generado en la red LTE resulta “invisible” en la red externa, a través de la entidad P-GW, que hace de pasarela entre una red y otra. Un usuario tiene asignada como mínimo una pasarela P-GW desde su registro en la red LTE.

➤ **HSS**

Según Huidobro, Cuarta Edición (2010) es la base de datos principal que almacena los datos de todos los usuarios de la red, la información almacenada es tanto lo relativo a la suscripción del usuario como lo necesario para la operatividad de la red, esta base de datos es consultada y modificada desde las diferentes entidades de red encargadas de prestar los servicios de conectividad o servicios finales (desde el MME de red troncal EPC y también desde servidores de control del subsistema IMS, que explicaremos más adelante).

La información almacenada en la HSS que podemos encontrar: identificadores universales del usuario, identificadores de servicio, información de seguridad y cifrado, información relacionada con la ubicación de un usuario en la red, etc. HSS se estandarizó en 3GPP R5 en base a la integración de dos entidades definidas en redes

GSM y que se denominan HLR y AuC, a las que se les han añadido funcionalidades adicionales necesarias para soportar el acceso y la operativa del sistema LTE.

- **IP Multimedia Subsystem (IMS)**

Según Tomasi, Cuarta Edición (2003) es un subsistema que proporciona los mecanismos de control necesarios para la prestación de servicios de comunicación multimedia que están basados en la utilización del protocolo IP a los usuarios de la red LTE. La idea es desplegar una infraestructura constituida por una serie de elementos (servidores, base de datos, pasarelas) que se comunicarán entre sí mediante una serie de protocolos, la mayoría estándares del IETF, y que nos permiten ofrecer servicios de voz y video sobre IP, videoconferencia, mensajería instantánea, etc. El acceso a estos servicios por parte de los terminales de usuario se realiza a través de los servicios de conectividad que ofrece la red LTE. La prestación de estos servicios por parte del IMS pretende sustituir a medio-largo plazo los servicios equivalentes ofrecidos actualmente en modo circuito. El modelo de prestación de servicio en base al subsistema IMS se estructura en tres capas: transporte, control y aplicación.

- **Capa de transporte**

Según Huidobro, Cuarta Edición (2010) representa la infraestructura de red IP, que depende de la tecnología de acceso, que nos proporciona el encaminamiento de los flujos IP entre terminales y demás elementos de la red.

➤ **Capa de control**

Según Huidobro, Cuarta Edición (2010) aquí se ubican los elementos especializados en la gestión de sesiones, como los servidores SIP, así como otros elementos específicos para la interacción con redes telefónicas convencionales (pasarelas VoIP, controladores, etc.).

➤ **Capa de aplicación:**

Según Huidobro, Cuarta Edición (2010) en esta capa residen los servidores de aplicación que albergan la lógica y datos asociados a los diferentes servicios proporcionados a través de IMS. En esta capa también se presentan elementos ligados a otras plataformas de servicios como redes inteligentes.

El establecimiento y liberación de sesiones a través del IMS se basa en el protocolo de señalización SIP complementándolo con una serie de extensiones adicionales. SIP es un protocolo que se concibió para el establecimiento y liberación de sesiones multimedia (telefonía,

videoconferencia, etc.) sobre redes IP entre dos o más participantes. Gracias a la flexibilidad de SIP, ahora abarca una gama de aplicaciones mucho más extensa, mensajería instantánea, juegos distribuidos, control remoto de dispositivos, etc.

### **3.2.3 Estándares de calidad de la tecnología 4G**

Este es el reglamento de calidad de telecomunicaciones establecido por OSIPTEL.

Se establecen los siguientes indicadores de calidad:

#### **A. Para el tramo usuario-ISP**

(Proveedor de Servicio de acceso a Internet), las empresas operadoras deberán implementar los indicadores definidos a continuación:

- **Cumplimiento de Velocidad Mínima (CVM)**

Es el porcentaje de mediciones (TTD) de las velocidades de bajada y subida que cumplen con la velocidad mínima. Las empresas operadoras están obligadas a prestar el servicio acorde con las velocidades contratadas por el abonado; sea prepago, control o post pago.

Para tal efecto, la velocidad mínima se calculará como una proporción de la velocidad máxima contratada de subida y bajada, correspondiendo el 40% para el servicio brindado a través de redes fijas y móviles. Estos requerimientos son



aplicables para los servicios de acceso a Internet fijo o móvil; exceptuando de esta obligación las tecnologías dial up y GPRS/EDGE.

## B. Calidad de Llamadas

- **Calidad de Cobertura de Servicio (CCS)**

Definido como el porcentaje de mediciones de nivel de señal que fueron superiores o iguales al valor de la intensidad de señal -95 dBm el cual garantiza el establecimiento y la retenibilidad de las llamadas que realizan los usuarios del servicio en la zona cubierta del centro poblado.

- **Tasa de Intentos No Establecidos (TINE)**

Definido como la relación, en porcentaje, de la cantidad de Intentos No Establecidos sobre el Total de Intentos. Este indicador se evaluará considerando todos los intentos de llamadas que se originan en la red de la empresa operadora, así como los que ingresan a ésta a través de los puntos de interconexión.

INDICADOR	FÓRMULA	META
Tasa de Intentos no Establecidos	Proporción de intentos no establecidos respecto al total de intentos, desagregados por provincia. Para el caso de la provincia de Lima, se desagrega en 4 grupos de distritos. Además se considera el Callao.	N.A.
Tasa de Llamadas Interrumpidas	Proporción de llamadas interrumpidas respecto al total de llamadas establecidas, desagregados por provincia. Para el caso de la provincia de Lima, se desagrega en 4 grupos de distritos. Además se considera el Callao.	N.A.
Calidad de Voz	Valor promedio de mediciones de la inteligibilidad de la voz de una llamada telefónica, medido en un centro poblado (drive test)	MOS $\geq$ 3.00
Calidad de Cobertura de Servicio	Proporción de mediciones de campo con intensidad de señal mayor a -95 dBm, medido en un centro poblado (drive test)	CCS $\geq$ 95.00%
Tiempo de Entrega de Mensajes de Texto	Tiempo promedio de entrega de mensajes de texto recibidos dentro de 175 segundos, medido en un centro poblado (drive test). Proporción de mensajes de texto recibidos dentro de una hora, medido en un centro poblado (drive test)	TEMT $\leq$ 20 Seg PMR $\geq$ 95.00%
Accesibilidad de Llamadas	Proporción de llamadas establecidas respecto al total de intentos de llamada, medido en un centro poblado (drive test)	N.A.
Retenibilidad de Llamadas	Proporción de llamadas interrumpidas respecto al total de llamadas establecidas, medido en un centro poblado (drive test)	N.A.
Cumplimiento de la velocidad mínima	Proporción de cumplimiento de la velocidad mínima, por centro poblado supervisado.	-Servicio fijo $\geq$ 95% -Servicio móvil $\geq$ 90%

**CAPÍTULO IV**  
**DESARROLLO DEL PROYECTO**

## 4.1 Descripción y Desarrollo del proceso

### 4.1.1 Descripción del Proyecto

La estación base transmisora en análisis se encuentra ubicada en el distrito de Locumba, departamento de Tacna, cuyas coordenadas de ubicación geográfica son: Latitud  $-17^{\circ}.614611$ , Longitud  $-70^{\circ}.770166$  y altitud 608 msnm; la misma que presenta las siguientes características técnicas en relación con su antena y tipo de soporte.

En la siguiente tabla se muestra las características actuales de la BTS 3G, así también en la siguiente figura se muestra la Vista Frontal de la BTS 3G- Empresa Claro – Locumba.

**Tabla N° 01:**  
Características actuales de la BTS 3G

Data RF (3G)	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Modelo de Antena	CTSDG-06516-XDM	CTSDG-06516-XDM	NA
Azimuth (°)	80	220	NA
Tilt Mecánico (°)	5	0	NA
Tilt Eléctrico (°)	7	7	NA
Altura de RRU (m)	38	38	NA
Altura de antena (m)	40	40	NA

Tipo Estructura (Torre/Mástil)	<b>TORRE AUTOSOPORTADA de 40m.</b>
--------------------------------	------------------------------------

Fuente: Reporte Técnico Site Survey - Huawei - Claro



**Figura N° 01:** Vista Frontal de la BTS 3G- Empresa Claro – Locumba  
Fuente: Obtención

Propia.



**Figura N° 02:** Ubicación geográfica de la BTS 3G - Empresa Claro – Locumba  
Fuente:

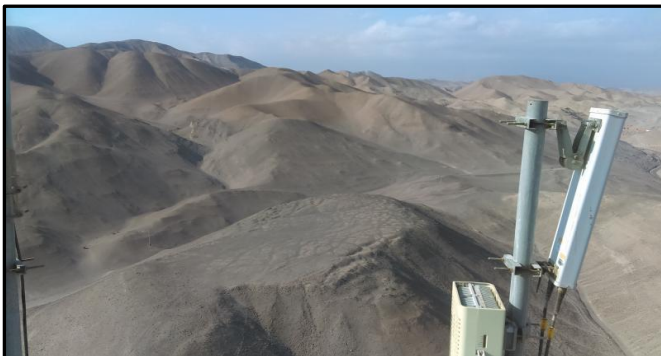
Google

Earth

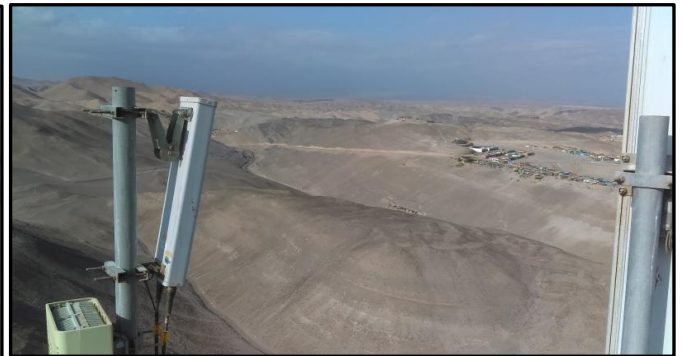
En la figura anterior se muestra la ubicación geográfica de la BTS 3G.

De lo mostrado anteriormente podemos establecer que la estación base transmisora solo presenta como áreas de cobertura los sectores 1 y 2; Esto es debido a que el sector 3 de cobertura coincide con una zona desértica de la población, a continuación, se evidencia lo dicho con las siguientes figuras.

En las siguientes figuras se muestra el área de cobertura de la celda en 0° y 30° respectivamente.



**Figura N° 03:** Área de cobertura de la celda - 0°  
Fuente: Obtención Propia



**Figura N° 04:** Área de cobertura de la celda - 30°  
Fuente: Obtención Propia.

En las siguientes figuras se muestra el área de cobertura de la celda en 120° y 210° respectivamente.



**Figura N° 05:** Área de cobertura de la celda - 120°  
210° Fuente: Obtención Propia



**Figura N° 06:** Área de cobertura de la celda-  
Fuente: Obtención Propia

En las siguientes figuras se muestra el área de cobertura de la celda en 240° y 300° respectivamente.



**Figura N° 07:** Área de cobertura de la celda - 240°  
300° Fuente: Obtención Propia



**Figura N° 08:** Área de cobertura de la celda -  
Fuente: Obtención Propia

Otro punto importante que resaltar dentro del contexto sobre la cual se realizará la migración de la estación base transmisora de tecnología 3G a 4G, son los parámetros actuales de carga y descarga de datos, así como el tráfico de llamadas de voz. A continuación, se evidencia dichos parámetros medidos con los aplicativos G-NetTrack Lite y SpeedTest.

En la siguiente figura se muestra la Medición del Tráfico de llamadas y datos en la BTS 3G.



**Figura N° 09:** Medición del Tráfico de Llamadas y datos en la BTS 3G  
Fuente: Apps G-NetTrack Lite - SpeedTest

En la siguiente tabla se muestra el Resultado de la Medición del

### Tráfico de llamadas y datos en la BTS 3G

**Tabla N° 02:**

Resultado de la Medición del Tráfico de Llamadas y datos en la BTS 3G

<b>TRÁFICO DE LLAMADAS</b>		
2,437 llamadas/ minuto		
<b>TRÁFICO DE DATOS</b>		
DL throughput	18,64 Mbps	Tiempo:33 ms
UL throughput	2,15 Mbps	

Elaboración propia

A partir de estas consideraciones, muy particulares y específicas para la estación base trasmisora en análisis, y considerando la metodología de migración a través del procedimiento “Swap de equipos de comunicaciones y antenas”, a continuación, detallo las actividades a seguir, con el propósito de alcanzar los objetivos definidos en esta tesis:

Procedimiento de Migración de la BTS de tecnología 3G a 4G:

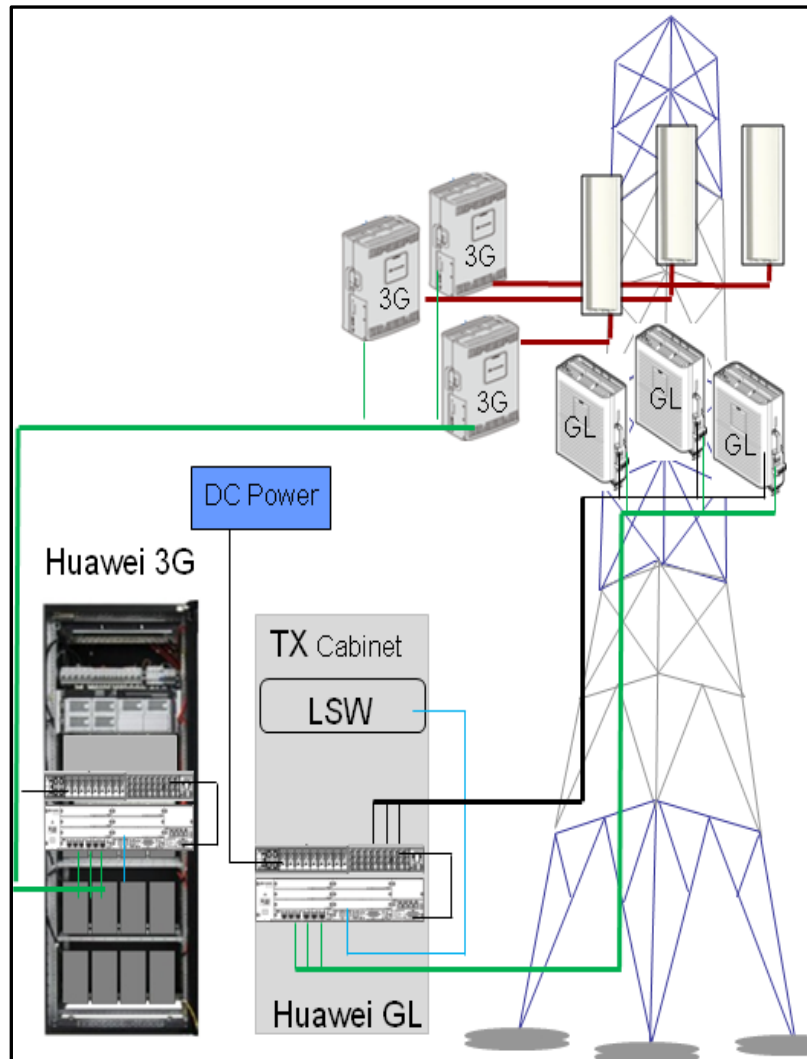
#### **A. Paso 1: Trabajos previos al cutover**

- a.1 Instalar la BBU en el gabinete de Transmisión, para luego insertar la tarjeta UMTS en el slot 7 de la BBU.
- a.2 Integrarlo (cargar script), cablear y gestionar alarmas externas.



a.3 Instalar las RRU y dejar presentado los jumpers cerca a la antena existente 3G.

En la siguiente figura se muestra el Esquema de instalación de la BBU en el gabinete de Transmisión.



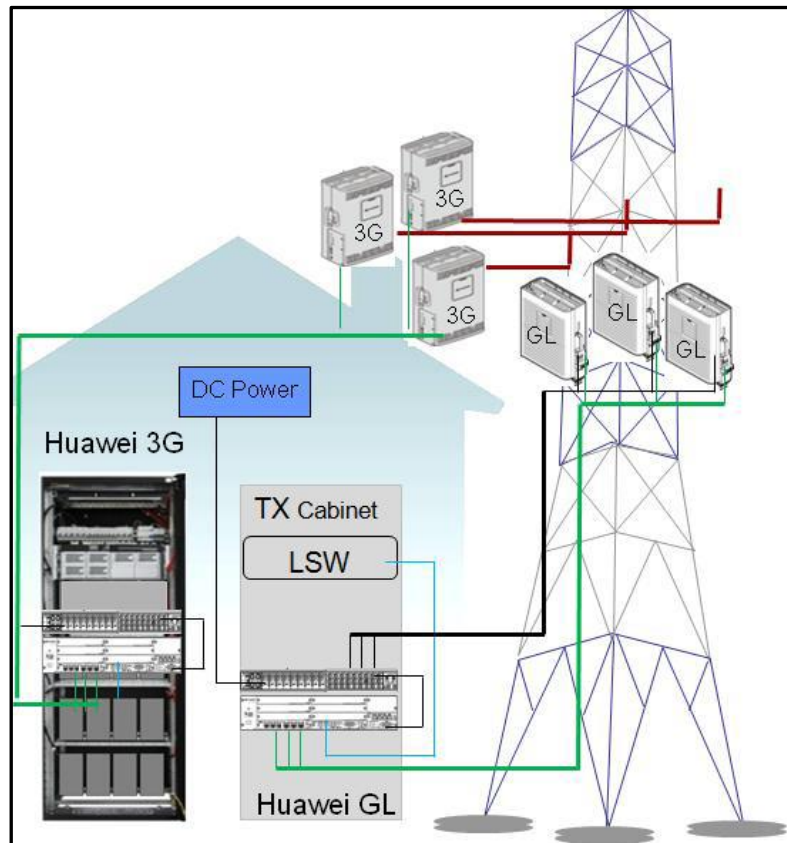
**Figura N° 10:** Esquema de instalación de la BBU en el gabinete de Transmisión  
Fuente: Elaboración Propia.

## B. Paso 2: Swap de Antenas

- b.1 Se registra azimut y tilt existente.
- b.2 Se desconectan los jumpers del lado de la antena que soportan a la estación base transmisora con tecnología 3G.

b.3 Se desinstalan las antenas antiguas.

En la siguiente figura se muestra el Esquema de instalación Swap de antenas.

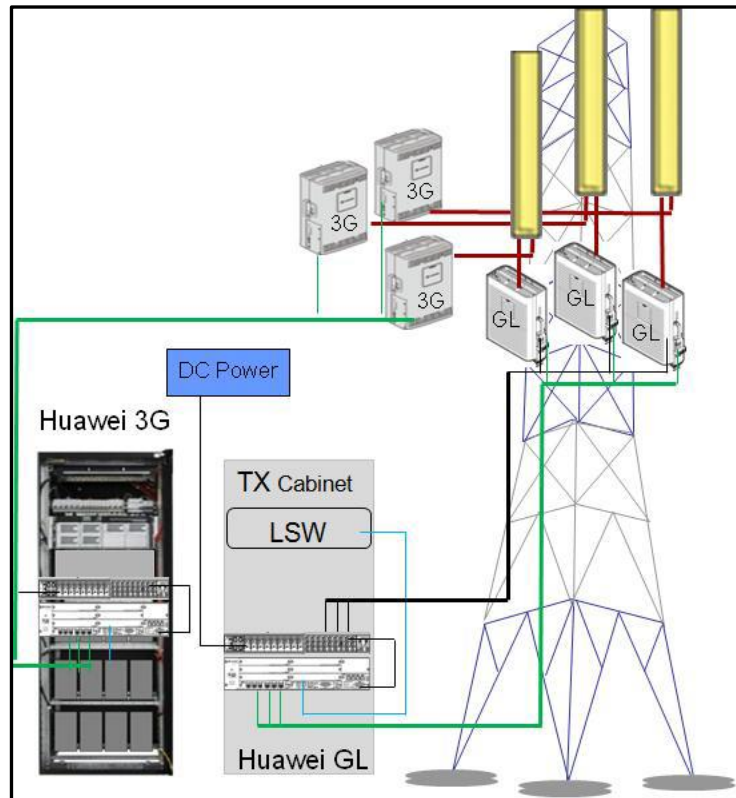


**Figura N° 11:** Esquema de instalación Swap de antenas.  
Fuente: Elaboración Propia.

### C. Paso 3: Swap de Equipos

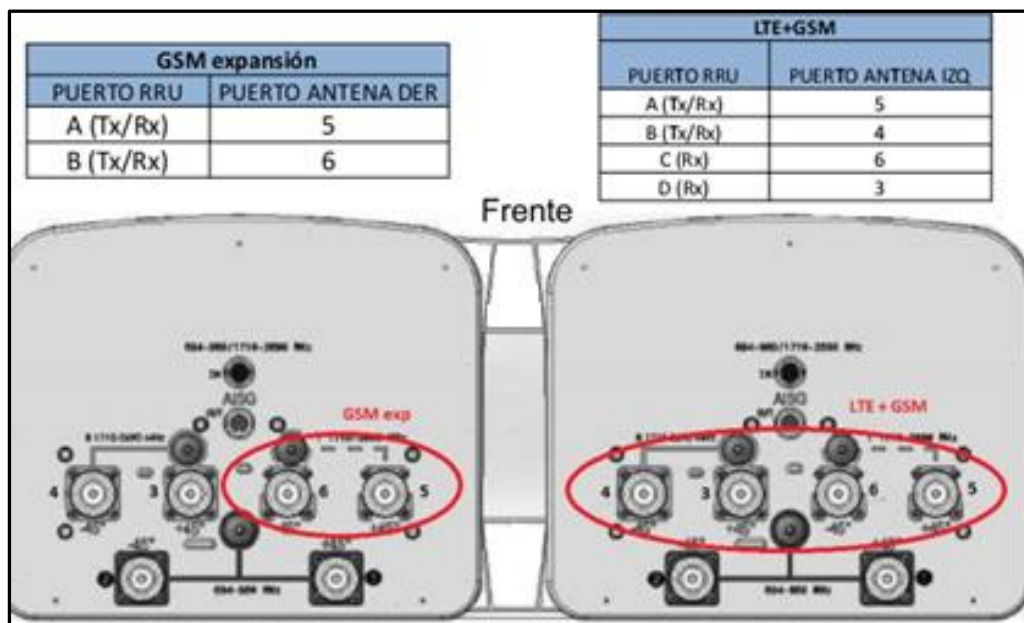
- c.1 Se instalan las nuevas antenas TETRA de 4G, considerando Azimuth y Tilt especificado en el TSS (RASV).
- c.2 Se conecta los jumpers desde las RRU 3G y las RRU 4G hacia las nuevas Antenas.

En la siguiente figura se muestra el Esquema de instalación de Swap de Equipos.



**Figura N° 12:** Esquema de instalación de Swap de Equipos.  
Fuente: Elaboración Propia

Es importante resaltar la importancia de conexión de los RRU a los puertos de las antenas 4G. A continuación, en la siguiente figura, se detalla la ubicación de los puertos de las antenas.



**Figura N° 13:** Ubicación de los puertos de las antenas  
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.2 Desarrollo de la Propuesta

Siendo coherente con los pasos establecidos en el punto anterior para realizar la migración de una estación de 3G a 4G, a continuación, a través de imágenes indicare los procedimientos realizados:

- Se procedió a instalar la BBU en el gabinete de transmisión, para luego insertar la tarjeta UMTS en el slot 7 de la BBU.

En la siguiente figura se muestra la Instalación de la BBU en el gabinete de transmisión BTS.



**Figura N° 14:** Instalación de la BBU en el gabinete de transmisión BTS - Locumba  
Fuente: Obtención propia.

- Seguidamente se procedió a cargar el script a la BBU, para luego

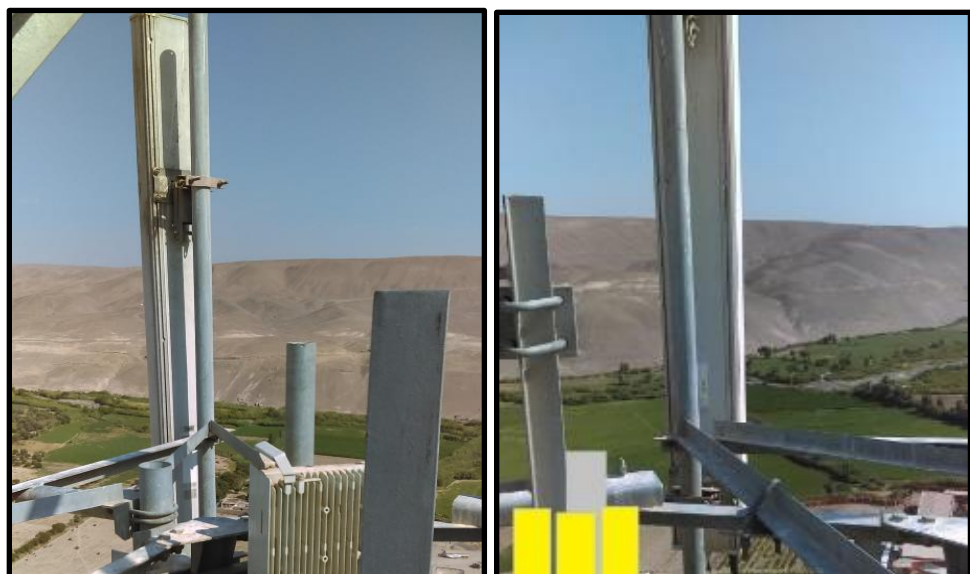
	Datos de Cables sector 1	LTE 1900	LTE 700	LTE 2.6	UMTS 850
i	Longitud de Jumper (m)		6		NA
n	Cantidad de Jumper		2		NA
s	Longitud de FO en metros (m)		70		NA
	Longitud de DC de RRU (m)		60		NA
t	Longitud del Cable de tierra (m)		5		NA

alar las RRU y dejar presentado los jumpers cerca a la antena existente. Para tal procedimiento se identificó la utilización de las siguientes líneas de transmisión, dimensionadas en la siguiente tabla.

**Tabla N° 03:**  
Dimensionamiento de líneas de cables y FO – Sector 1

Fuente: Elaboración Propia

- Realizado el procedimiento anterior se procedió a retirar las antenas existentes de la estación 3G, para luego ser reemplazadas por las antenas Tetra Huawei 4G, tal como se muestra a continuación.



**Figura N° 15:** Swap de Antenas BTS - Locumba  
Fuente: Obtención propia.

- A continuación, se procede a realizar la configuración del nuevo Tilt mecánico ( $10^\circ$ ) y eléctrico ( $7^\circ$ ), en los dos sectores. En las siguientes figuras se muestra la evidencia de dicha configuración.

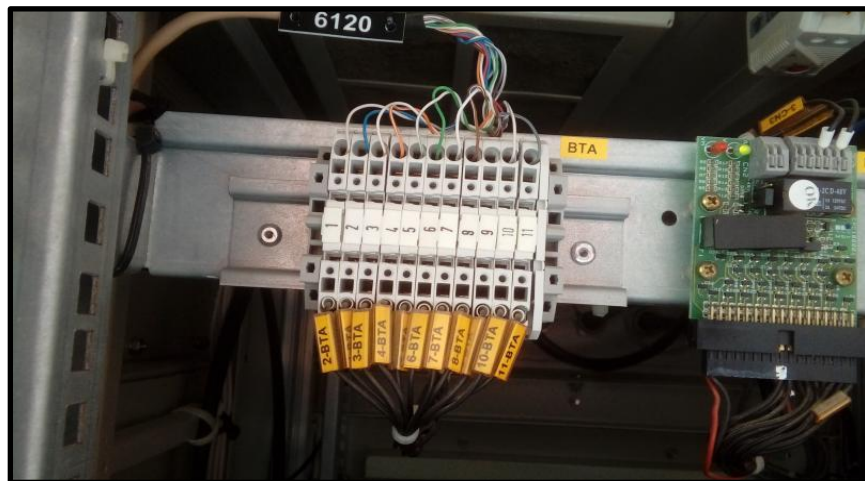


**Figura N° 16:** Configuración del Tilt mecánico – Sector 1 y Sector 2 – BTS Locumba.  
Fuente: Obtención Propia

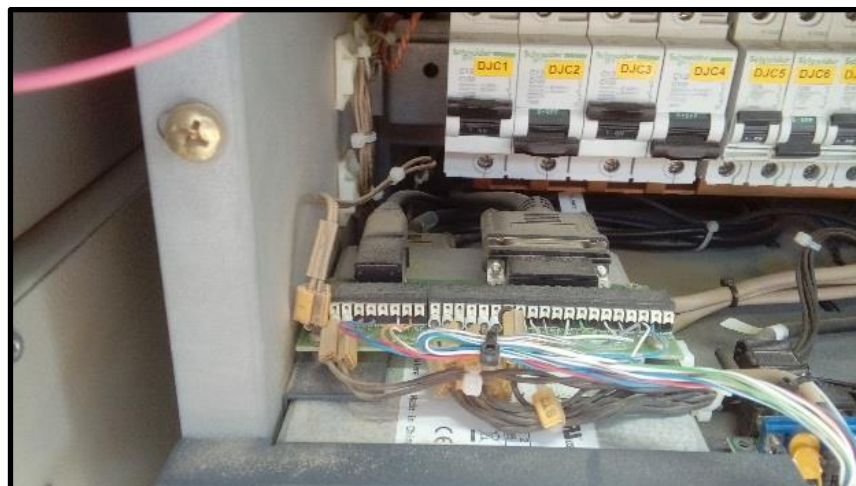


**Figura N° 17:** Configuración del Tilt mecánico – Sector 1 y Sector 2 – BTS Locumba.  
Fuente: Obtención Propia

- Finalmente, de forma adicional se procede a realizar la conexión de alarmas en el gabinete de transmisión considerando los nuevos RRUs, tal como se muestra en las siguientes figuras.



**Figura N° 18:** Instalación de alarmas considerando las nuevas RRUs 4G  
Fuente: Obtención Propia.



**Figura N° 19:** Instalación de la etapa de rectificadores - BTS Locumba 4G  
Fuente: Obtención Propia.

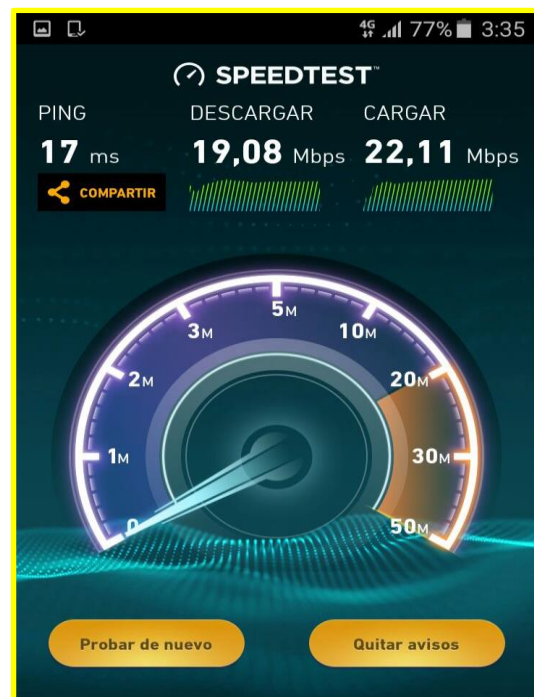
### 4.1.3 Interpretación de resultados

En relación con los resultados obtenidos, a continuación, se muestran los valores de tráfico de voz y datos, expresados por los valores proporcionados por el software G-NetTrack Lite y SpeedTest.

En la siguiente figura se muestra la Medición 1 del Tráfico de llamadas y datos en la BTS 4G.



**Figura N° 20:** Medición 1 del Tráfico de llamadas  
Fuente: Obtención Propia.



**Figura N° 21:** Medición 1 del UL y DL throughput  
Fuente: Obtención Propia

En la siguiente figura se muestra la Medición 2 del Tráfico de llamadas y datos en la BTS 4G.





**Figura N° 22:** Medición 2 del Tráfico de Llamadas  
Fuente: Obtención Propia.

**Figura N° 23:** Medición 2 del UL y DL throughput  
Fuente: Obtención Propia

En la siguiente figura se muestra la Medición 3 del Tráfico de llamadas y datos en la BTS 4G.



**Figura N° 24:** Medición 3 del Tráfico de Llamadas  
Fuente: Obtención Propia.

**Figura N° 25:** Medición 3 del UL y DL throughput  
Fuente: Obtención Propia

En la siguiente figura se muestra la Medición 4 del Tráfico de llamadas y datos en la BTS 4G.



**Figura N° 26:** Medición 4 del Tráfico de llamadas  
Fuente: Obtención Propia.

**Figura N° 27:** Medición 4 del UL y DL throughput  
Fuente: Obtención Propia

De los resultados mostrados se puede entender que efectivamente el procedimiento de migrar la estación base transmisora de 3G a 4G, tiene como consecuencia mejorar el tráfico de llamadas y mejorar la velocidad de carga y descarga de datos. De las imágenes mostradas anteriormente podemos obtener la siguiente tabla N° 4, que muestra el resultado de la medición 1 del tráfico de llamadas y datos de la BTS 4G.

**Tabla N° 04:**  
Resultado de la Medición 1 del Tráfico de llamadas y datos en la BTS 4G

TRÁFICO DE LLAMADAS		
4,112 llamadas/ minuto		
TRÁFICO DE DATOS		
DL throughput	18,64 Mbps	Tiempo: 17 ms
n UL throughput	19,08 Mbps	

e: Elaboración propia

De las imágenes mostradas anteriormente podemos obtener la siguiente tabla N° 5, que muestra el resultado de la medición 1 del tráfico de llamadas y datos de la BTS 4G.

**Tabla N° 05:**

Resultado de la Medición 2 del Tráfico de llamadas y datos en la BTS 4G

TRÁFICO DE LLAMADAS		
4,021 llamadas/ minuto		
TRÁFICO DE DATOS		
DL throughput	24,53 Mbps	Tiempo: 17 ms
UL throughput	23,37 Mbps	

e: Elaboración propia

De las imágenes mostradas anteriormente podemos obtener la siguiente tabla N° 6, que muestra el resultado de la medición 1 del tráfico de llamadas y datos de la BTS 4G.

**Tabla N° 06:**

Resultado de la Medición 3 del Tráfico de llamadas y datos en la BTS 4G

TRÁFICO DE LLAMADAS		
3,997 llamadas/ minuto		
TRÁFICO DE DATOS		
DL throughput	36,15 Mbps	Tiempo: 20 ms
UL throughput	30,90 Mbps	

: Elaboración propia

De las imágenes mostradas anteriormente podemos obtener la siguiente tabla N° 7, que muestra el resultado de la medición 1 del tráfico de llamadas y datos de la BTS 4G.

**Tabla N° 07:**

Resultado de la Medición 4 del Tráfico de llamadas y datos en la BTS 4G

TRÁFICO DE LLAMADAS		
4,014 llamadas/ minuto		
TRÁFICO DE DATOS		
DL throughput	24,26 Mbps	Tiempo: 18 ms
UL throughput	30,43 Mbps	

: Elaboración propia

En ese sentido podemos establecer de que en promedio la estación base transmisora 4G presenta un tráfico de 4000 llamadas/minuto, así como DL throughput de 25.90 Mbps y UL throughput de 25.95, evidenciando la mejora del tráfico de llamadas y datos.

El costo para realizar la migración de la tecnología 3G a 4G para mejorar el tráfico de llamadas y datos de una estación base transmisora de 3G, de la empresa Claro, ubicada en el distrito de Locumba, Departamento de Tacna, será el siguiente:

**Tabla N° 08**  
Costo de Inversión

ITEM	EQUIPOS Y MATERIALES	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	BBU <ul style="list-style-type: none"> <li>• -115.5 dBm</li> <li>• 925 MHz a 960 MHz: 2 x 80W</li> <li>• + 24V DC; rango de voltaje: + 21.6V DC a + 29V DC</li> </ul>	1	\$ 3, 570.00	\$ 3, 570.00
2	RRU <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1,710 a 1,785 MHz y 1,805 a 1,880 MHz</li> <li>• 220V AC; voltage range:</li> </ul>	2	\$ 5, 832.00	\$ 11, 664.00

	176V AC to 290V AC			
3	UMTP • 100 Mbit/s - 300 Mbit/s	1	\$ 2, 158.00	\$ 2, 158.00
4	Antenas Tetra 4G • 2400 MHz • 930 m Radio • 11dBi	2	\$ 3, 133.00	\$ 6, 266.00
5	Mano de Obra (7 días)	4 técnicos	\$ 58 x día	\$ 1, 624.00
<b>Costo Total \$ 25,282.00 ≈ S/. 82,065.37</b>				

Fuente: Elaboración Propia  
\*\*Cambio de dólar = 3.2460

## 4.2 Conclusiones

- Se mejoró el tráfico de llamadas en un 64.136% en relación con lo que se tenía inicialmente, así también se redujo el tiempo de descarga y carga de dato de la estación base transmisora de la empresa Claro, ubicada en el distrito de Locumba, Departamento de Tacna.
- Se realizó la migración de la estación base transmisora de 3G a 4G de la empresa Claro, ubicada en el distrito de Locumba, departamento de Tacna, mediante los siguientes procedimientos: Trabajos previos al cutover, Swap de Antenas y Swap de Equipos.
- Se calculó el costo inversión para realizar el procedimiento de migración de una estación base transmisora de 3G a 4G, de la empresa Claro, ubicada en el distrito de Locumba, departamento de Tacna, siendo la cantidad determinada de S/. 82,065.37.

### **4.3 Recomendaciones**

- En relación con la mejora del tráfico de llamadas, se recomienda, que las operadoras sigan expandiendo esta nueva tecnología, mejorando el servicio de telefonía móvil en el Perú, con la finalidad de que todos los usuarios tengan las mismas oportunidades de acceder a los beneficios que traen consigo la implementación de la tecnología 4G.
- En relación con la determinación del procedimiento de migración de 3G a 4G, se recomienda, a las operadoras móviles capacitar constantemente a sus trabajadores, con la finalidad de realizar un óptimo servicio así también para proyectarse con la tecnología del futuro.
- Finalmente, en relación con el costo de inversión de la migración de 3G a 4G, se recomienda, la utilización de equipos con menor costo en el mercado, a fin de reducir el monto de inversión.

**CAPÍTULO V**  
**REFERENCIAS**



## 5.1 Bibliografía

- Analuisa, J. (2014). Diseño de una red 4G Long Term Evolution (LTE) en redes móviles. (Tesis Pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.
- Herrera, E. (2004). Introducción a las telecomunicaciones modernas. Limusa: México.
- Huidobro, J. (2006). Redes y servicios de telecomunicaciones. Paraninfo: España.
- Hurtado, C. (2011). Introducción a las telecomunicaciones modernas Estudio de factibilidad para la implementación de LTE (Long Term Evolution) en el Ecuador. (Tesis Pregrado). Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Korowajczuk, L. (2011). LTE, WiMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis. Wiley: USA
- León, R. (2007). Propuesta de migración hacia una red de telefonía celular de 4G. (Tesis Pregrado). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.
- Millán, J. (2014). Configuración de infraestructuras de sistemas de telecomunicaciones. Paraninfo: España.
- Navarro, J. (2008). Evolución de 3G y su convergencia a 4G en comunicaciones móviles. (Tesis Pregrado). Universidad Austral de Chile. Chile.
- Núñez, J. (2013). Diseño de una red de nueva generación LTE-A para una zona urbana en Bogotá bajo el estándar 3gpp y la recomendación ITU-R M.1457. (Tesis Pregrado). Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

- Tomasi, W. (2003). Sistemas de comunicaciones electrónicas. Pearson: México.
- Zambrano, P. (2015). Análisis del impacto de la migración 3G a 4G en la modernización de los equipos de telecomunicaciones utilizados en radiobases por las operadoras móviles en el Ecuador. (Tesis Pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Ecuador

## 5.2 Direcciones Web

- Dirección web N°1  
<http://forum.huawei.com/en/thread-78839-1-1.html>
- Dirección web N°2  
<https://www.tecnoseguro.com/analisis/tecnologia-2g-a-3g-para-sistemas-de-alarma.html>
- Dirección web N°3  
<http://archivo.elcomercio.pe/economia/peru/4g-lte-tecnologia-capaz-revolucionar-mercado-smartphones-noticia-1647803>
- Dirección web N°4  
<https://www.arturogoga.com/bandas-4g-peru/>
- Dirección web N°5  
<http://peruconnection.com.pe/2017/09/28/bandas-3g-y-4g-en-el-peru-actualmente/>
- Dirección web N°6  
<https://www.xatakamovil.com/conectividad/categorias-lte-o-4g-que-son-y-que-velocidades-maximas-ofrece-cada-una-de-ellas>
- Dirección web N°7  
<https://www.vix.com/es/btg/tech/12751/que-es-como-funciona-y-para-que-sirve-el-4g>
- Dirección web N°8  
<https://www.xataka.com.mx/celulares-y-smartphones/que-es-y-como-funciona-el-4g>
- Dirección web N°9  
<http://www.laizquierdadiario.com/4G-Que-es-Para-que-sirve-Cuando-podremos-usarlo>
- Dirección web N°10  
<http://www.conatel.gob.ve/movilnet-impulsa-migracion-de-usuarios-a-red-4g-lte/>

**CAPÍTULO VI**  
**GLOSARIO DE TERMINOS**

## 6.1 Glosario de Términos

- a. Abonados: Usuarios que hayan recibido o realizado al menos una llamada en un período de tiempo.
- b. Ancho de Banda: Cantidad de datos que se pueden transmitir en un periodo de tiempo.
- c. Área de Cobertura: Considerado como el espacio geográfico a la cual se dispone un servicio.
- d. Banda ancha: Capacidad para transmitir datos un canal compartido.
- e. Calidad de servicio: Satisfacción de las necesidades y expectativas del cliente.
- f. Celda: Área geográfica manejada por un elemento de red (BTS en una red GSM).
- g. Cifrado: Método para asegurar la información de un mensaje.
- h. Conmutación de circuitos: Establecimiento de un camino de comunicación único (dedicado) entre dos elementos de una red.
- i. Conmutación de paquetes: Transmisión de información mediante paquetes entre dos elementos de red, de forma independiente.
- j. Enlace ascendente: Dirección en la que viajan los datos de una comunicación; de móvil a estación base.
- k. Enlace descendente: Dirección en la que viajan los datos de una comunicación; estación base a móvil.
- l. RSCP: Potencia del código de señal recibida Indica la potencia medida por un receptor en un canal de comunicación físico particular. Se utiliza

como una indicación de la intensidad de la señal, como un criterio de transferencia, en el control de potencia del enlace descendente, y para calcular la pérdida de ruta.

- m.** RSRP: Energía recibida de la señal de referencia. La potencia recibida es una medida del nivel de potencia recibido en una red de células LTE. La potencia promedio es la medida de la potencia recibida de una sola señal de referencia.
- n.** SWAP: Se define como el intercambio de antena de una estación base transmisora de forma transparente al usuario y casi como si la red estuviese en funcionamiento.
- o.** UMPT: Unidad de procesamiento y transmisión principal universal, gestiona configuraciones y dispositivos, supervisa el rendimiento y procesa la señalización.

## **CAPÍTULO VII**

### **ÍNDICES**

## 7.1 Índice de Gráficos

Gráfico N° 01: Organigrama de la Empresa Claro.....	14
---	----



## 7.2 Índice de Figuras

Figura N° 01:	Vista Frontal de la B Empresa Claro TS 3G-- Locumba.....	43
Figura N° 02:	Ubicación geográfica de la BTS 3G - Empresa Claro – Locumba .....	44
Figura N° 03:	Área de cobertura de la celda - 0° 45	
Figura N° 04:	Área de cobertura de la celda - 30° 45	
Figura N° 05:	Área de cobertura de la celda - 120° 45	
Figura N° 06:	Área de cobertura de la celda - 210° 45	
Figura N° 07:	Área de cobertura de la celda - 240° 46	
Figura N° 08:	Área de cobertura de la celda - 300° 46	
Figura N° 09:	Medición del Tráfico de llamadas y datos en la BTS 3G 46	
Figura N° 10:	Esquema de instalación de la BBU en el gabinete de Transmisión 48	
Figura N° 11:	Esquema de instalación Swap de antenas 49	

- Figura N° 12: Esquema de instalación Swap de equipos  
50
- Figura N° 13: Ubicación de los puertos de las antenas  
50
- Figura N° 14: Instalación de la BBU en el gabinete de transmisión BTS -  
Locumba  
51
- Figura N° 15: Swap de Antenas BTS - Locumba  
52
- Figura N° 16: Configuración del Tilt mecánico – Sector 1 y Sector 2 – BTS  
Locumba  
53
- Figura N° 17: Configuración del Tilt mecánico – Sector 1 y Sector 2 – BTS  
Locumba  
53
- Figura N° 18: Instalación de alarmas considerando las nuevas RRUs 4G  
54
- Figura N° 19: Instalación de la etapa de rectificadores - BTS Locumba  
54
- Figura N° 20: Medición 1 del Tráfico de llamadas  
55
- Figura N° 21: Medición 1 del UL y DL throughput  
55
- Figura N° 22: Medición 2 del Tráfico de llamadas  
55

- Figura N° 23: Medición 2 del UL y DL throughput  
55
- Figura N° 24: Medición 3 del Tráfico de llamadas  
56
- Figura N° 25: Medición 3 del UL y DL throughput  
56
- Figura N° 26: Medición 4 del Tráfico de llamadas  
56
- Figura N° 27: Medición 4 del UL y DL throughput  
56

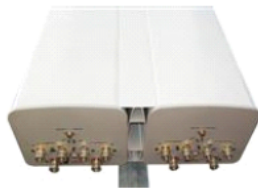
## 7.2 Índice de Tablas

Tabla N° 01:	Características actuales de la BTS 3G	43
Tabla N° 02:	Resultado de la Medición del Tráfico de llamadas y datos en la BTS 3G	47
Tabla N° 03:	Dimensionamiento de líneas de cables y FO – Sector 1	52
Tabla N° 04:	Resultado de la Medición 1 del Tráfico de llamadas y datos en la BTS 4G	57
Tabla N° 05:	Resultado de la Medición 2 del Tráfico de llamadas y datos en la BTS 4G	57
Tabla N° 06:	Resultado de la Medición 3 del Tráfico de llamadas y datos en la BTS 4G	58
Tabla N° 07:	Resultado de la Medición 4 del Tráfico de llamadas y datos en la BTS 4G	58
Tabla N° 08:	Costo de Inversión	59

## **CAPÍTULO VII**

### **ANEXOS**

# ANEXO 1



## R2V4PX308R

Argus® Multi-band Antenna, 2x 698–960 and 4x 1710–2690MHz, 65° horizontal beamwidth, internal electrical tilt. Bands cascaded SRET.

POWERED BY



### Electrical Specifications

Frequency Band, MHz	698–790	790–890	890–960	1710–1920	1920–2170	2300–2690
Gain, dBi	15.1	15.7	16.0	16.3	17.3	17.8
Beamwidth, Horizontal, degrees	65	62	59	62	58	59
Beamwidth, Vertical, degrees	12.3	11.0	9.9	10.4	9.2	7.4
Beam Tilt, degrees	0–10	0–10	0–10	0–10	0–10	0–10
USLS, dB	18	18	17	18	18	18
Front-to-Back Ratio at 180°, dB	31	31	30	30	30	33
CPR at Boresight, dB	23	19	18	23	21	14
CPR at Sector, dB	13	14	12	13	11	2
Isolation, dB	25	25	25	25	25	25
Isolation, Intersystem, dB	30	30	30	30	30	30
VSWR   Return Loss, dB	1.43   15.0	1.43   15.0	1.43   15.0	1.5   14.0	1.5   14.0	1.5   14.0
PIM, 3rd Order, 2 x 20 W, dBc	-150	-150	-150	-150	-150	-150
Input Power per Port, maximum, watts	300	300	300	250	250	250
Polarization	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°
Impedance	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm

### Electrical Specifications, BASTA\*

Frequency Band, MHz	698–790	790–890	890–960	1710–1920	1920–2170	2300–2690
Gain by all Beam Tilts, average, dBi	14.8	15.3	15.7	15.9	16.8	17.5
Gain by all Beam Tilts Tolerance, dB	±0.6	±0.3	±0.3	±0.6	±0.5	±0.6
Gain by Beam Tilt, average, dBi	0°   14.8	0°   15.3	0°   15.7	0°   16.0	0°   16.9	0°   17.6
Gain by Beam Tilt, average, dBi	5°   14.8	5°   15.3	5°   15.7	5°   15.9	5°   16.8	5°   17.6
Gain by Beam Tilt, average, dBi	10°   14.7	10°   15.3	10°   15.6	10°   15.9	10°   16.6	10°   17.2
Beamwidth, Horizontal Tolerance, degrees	±2.4	±2.6	±2.5	±3	±2.4	±5.7
Beamwidth, Vertical Tolerance, degrees	±0.8	±0.6	±0.3	±0.8	±0.7	±0.7
USLS, dB	18	18	18	18	18	18
Front-to-Back Total Power at 180° ± 30°, dB	26	26	25	30	30	31
CPR at Boresight, dB	23	19	18	23	21	13
CPR at Sector, dB	13	14	12	13	11	2

\* CommScope® supports NGMN recommendations on Base Station Antenna Standards (BASTA). To learn more about the benefits of BASTA, [download the whitepaper Time to Raise the Bar on BSAs.](#)

### General Specifications

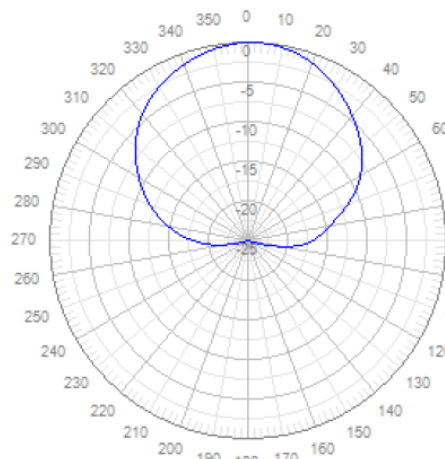
Antenna Brand	Argus®
Antenna Type	DualPol® multiband with internal RET
Band	Multiband

### Dimensions

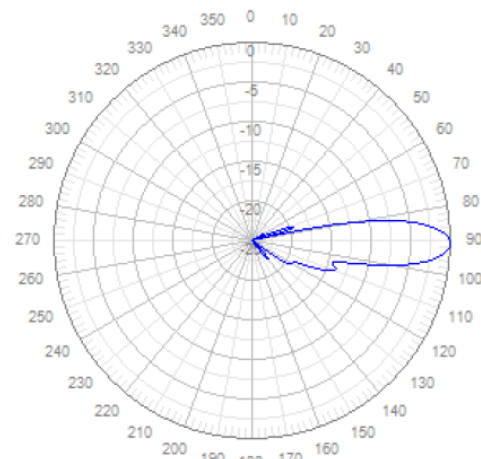
Depth	244.0 mm   9.6 in
Length	2074.0 mm   81.7 in
Width	641.0 mm   25.2 in
Net Weight	60.0 kg   132.3 lb

### Remote Electrical Tilt (RET) Information

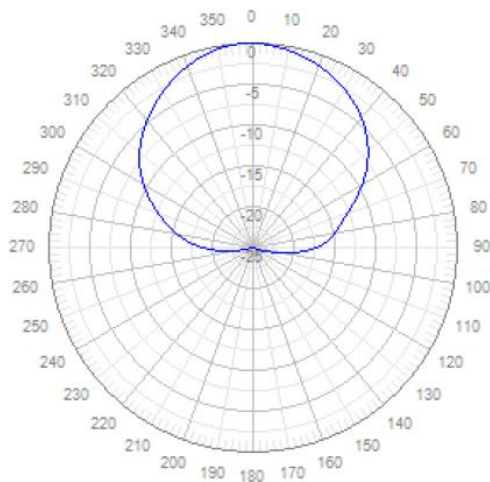
Input Voltage	10–30 Vdc
Power Consumption, idle state, maximum	2.0 W
Power Consumption, normal conditions, maximum	13.0 W
Protocol	3GPP/AISG 2.0
RET Interface	8-pin DIN Female   8-pin DIN Male
RET Interface, quantity	2 female   2 male



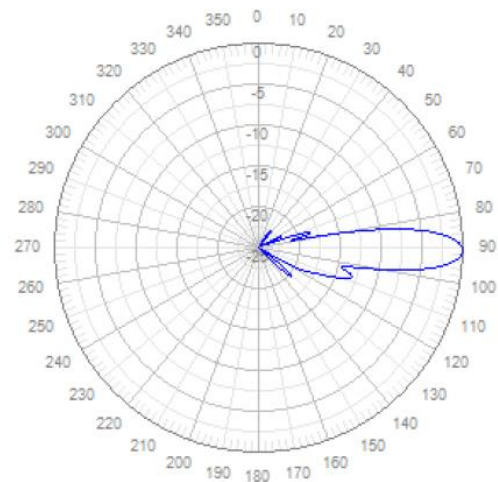
Freq: 748 MHz, Tilt: 0°



Freq: 748 MHz, Tilt: 0°



Freq: 849 MHz, Tilt: 0°



Freq: 849 MHz, Tilt: 0°