

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED 3GPP LTE EN EL  
DEPARTAMENTO DE CUSCO**

Tesis para optar el Título de Ingeniero de las Telecomunicaciones, que  
presenta el bachiller:

**CHRISTOPHER WONG MATOS**

ASESOR: Ing. Luis Montes Bazalar

**Lima, abril del 2011**

## **Resumen**

El presente proyecto de tesis consiste en el realizar un análisis y diseño de una red de cuarta generación en el departamento de Cusco usando la tecnología 3GPP LTE. En el desarrollo del proyecto veremos las ventajas que implica usar dicha tecnología, las posibilidades de implementación en las zonas elegidas para el despliegue, el desarrollo del alternativas de implementación y si hay un mercado potencial que permita realizar una fuerte inversión; es decir, analizar si el proyecto es rentable. El proyecto está dividido en 4 capítulos que se presentan a continuación.

El primer capítulo está centrado en el marco teórico del proyecto que incluye el análisis y justificación del proyecto, así como la descripción general de LTE.

El segundo capítulo busca presentar la evaluación socio-económica del departamento del Cusco en donde se busca encontrar el mercado potencial.

El tercer capítulo presenta toda la ingeniería de red centrándose en la red de acceso, pero sin dejar de lado el core y la red de transporte.

El cuarto capítulo, por su parte, describe todo el análisis económico del proyecto así como la evaluación financiera de la misma.

Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto, además de proponer algunos trabajos que permitan tener una visión más amplia de lo que significa desplegar una red de cuarta generación como LTE.

## *Dedicatoria*



A mi padre por todo su esfuerzo y dedicación

A mi madre y hermanos por existir

A mis amigos por todo su apoyo

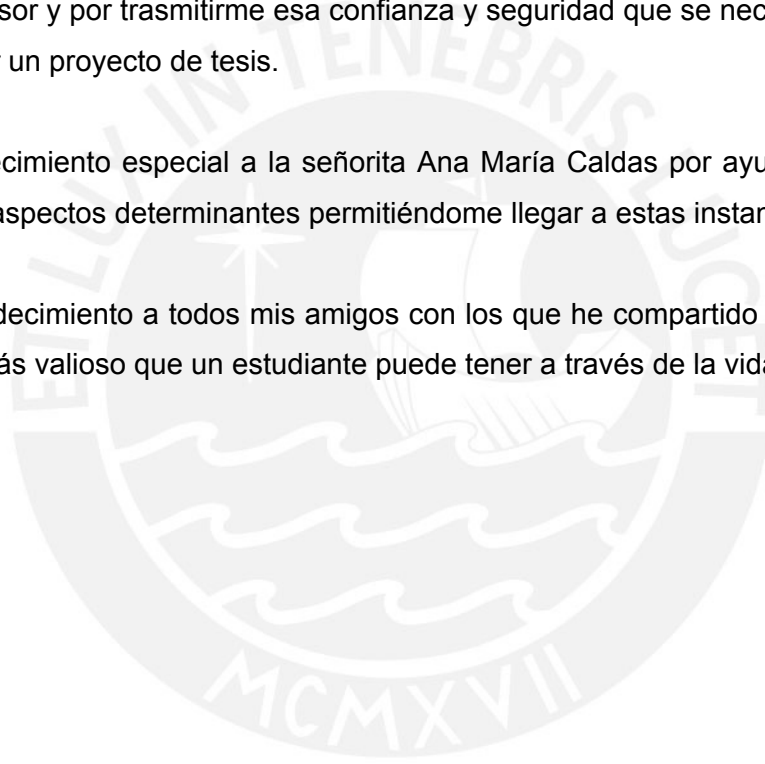
## ***Agradecimientos***

Primero quiero agradecer a mis padres por estar siempre a mi lado. Con todo su amor y apoyo incondicional he podido afrontar todos los problemas que han aparecido y con gran satisfacción puedo decir que he podido culminar una etapa muy importante en mi vida.

Un agradecimiento a todos los profesores, en especial al Ingeniero Luis Montes por ser mi asesor y por transmitirme esa confianza y seguridad que se necesitan para poder desarrollar un proyecto de tesis.

Un agradecimiento especial a la señorita Ana María Caldas por ayudarme a cambiar en varios aspectos determinantes permitiéndome llegar a estas instancias.

Y un agradecimiento a todos mis amigos con los que he compartido gratos momentos y son lo más valioso que un estudiante puede tener a través de la vida universitaria.



## Índice

Resumen.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos .....	iv
Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tablas.....	ix
Glosario.....	xi
Introducción.....	14
Capítulo 1 Marco teórico y descripción general de LTE.....	15
1.1 Oportunidad de negocios .....	15
1.2 Justificación de la oportunidad.....	15
1.3 Antecedentes de LTE.....	16
1.4 Conceptos básicos.....	17
1.4.1 Sub-Portadora .....	17
1.4.2 Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) .....	17
1.4.3 Técnicas de múltiple acceso OFDMA y SC-FDMA.....	17
1.5 Arquitectura de LTE .....	19
1.5.1 Núcleo de Red.....	19
1.5.2 Red de acceso.....	20
1.6 Aspectos de radio y protocolos de la interfaz aire.....	21
1.6.1 Banda de frecuencias de LTE .....	21
1.6.2 Arquitectura de protocolos de LTE .....	23
1.7 Capa física .....	24
1.7.1 Estructura de trama genérica .....	24
1.7.2 Capa física LTE para transmisión downlink.....	25
1.7.3 Capa física LTE para transmisión uplink .....	30
1.7.4 Técnicas de multi-antenas en LTE .....	33
1.8 Capa MAC .....	33
1.8.1 Canales lógicos .....	34
1.8.2 Flujo de datos en la capa MAC .....	35
1.9 Capa RRC.....	36
1.9.1 Estados RRC.....	36
Capítulo 2 Evaluación socio-económica del Cusco.....	37
2.1 Introducción .....	37
2.2 Información socio-económica de la zona .....	37
2.2.1 Ubicación geográfica .....	37
2.2.2 Análisis de la población .....	38
2.2.3 Análisis de la economía.....	41
2.3 Estudio del mercado de telefonía móvil .....	46
2.3.1 Situación actual del mercado .....	46
2.3.2 Proyección del mercado móvil.....	46
2.3.3 Consumidor y demandas del mercado.....	49
2.3.4 Competencia y oferta del mercado.....	50
2.3.5 Mercado potencial .....	51
Capítulo 3 Ingeniería de red.....	53
3.1 Introducción .....	53

3.2	Núcleo de la red LTE .....	53
3.2.1	Relación de principales proveedores de equipos del EPC de LTE	53
3.2.2	Diseño del EPC de LTE en el Perú .....	55
3.3	Red de acceso LTE.....	58
3.3.1	Espectro a usar .....	58
3.3.2	Modelos de propagación .....	59
3.3.3	Cálculo de coberturas.....	62
3.3.4	Zonas de cobertura .....	67
3.3.5	Capacidad de los eNodeB.....	67
3.3.6	Topología de la red de acceso .....	72
3.3.7	Descripción de equipos de acceso LTE .....	76
3.4	Red de transporte LTE.....	78
3.5	Infraestructura del proyecto .....	80
Capítulo 4	Análisis económico .....	81
4.1	Costos de Inversión .....	81
4.2	Costos de Operación .....	82
4.3	Estudio de la factibilidad del proyecto.....	82
4.3.1	CAPEX .....	83
4.3.2	OPEX .....	85
4.3.3	Flujo de caja y evaluación financiera.....	87
Conclusiones y Recomendaciones .....		90
Bibliografía .....		92
Anexos .....		99

## *Lista de Figuras*

FIGURA 1-1: ESTRUCTURAS DE SC-FDMA Y OFDMA [4] .....	18
FIGURA 1-2: DIFERENCIA DE LA SEÑAL EN EL DOMINIO DEL TIEMPO [4] .....	18
FIGURA 1-3: ELEMENTOS DE RED DE EPS [22].....	19
FIGURA 1-4: ARQUITECTURA DE LA RED DE ACCESO LTE [16].....	21
FIGURA 1-5: ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS LTE [7].....	23
FIGURA 1-6: ESTRUCTURA DE LA TRAMA GENÉRICA PARA DOWNLINK Y UPLINK DE LTE [6].....	25
FIGURA 1-7: RECURSOS FÍSICOS DE DOWNLINK [6].....	27
FIGURA 1-8: ORGANIZACIÓN DE LA CAPA 2 DE LTE [15] .....	34
FIGURA 2-1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CUSCO [33].....	38
FIGURA 2-2: PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN EN EL CUSCO [24] .....	39
FIGURA 2-3: DIVISIÓN POLÍTICA DEL CUSCO [34].....	40
FIGURA 2-4: DISTRIBUCIÓN DE LA PEA OCUPADA SEGÚN ACTIVIDAD [26] .....	43
FIGURA 2-5: COMPARACIÓN DE ARRIBOS TOTALES 2006 - SET 2009 [29] .....	45
FIGURA 2-6: PROYECCIÓN DE LÍNEAS MÓVILES EN SERVICIO EN EL CUSCO [30].....	47
FIGURA 2-7: PROYECCIÓN DE LÍNEAS CONTROL EN SERVICIO EN EL CUSCO [30].....	47
FIGURA 2-8: PROYECCIÓN DE LÍNEAS POST-PAGO EN SERVICIO EN EL CUSCO [30].....	48
FIGURA 2-9: PROYECCIÓN DE LÍNEAS PRE-PAGO EN SERVICIO EN EL CUSCO [30].....	48
FIGURA 3-1: ARQUITECTURA DEL NÚCLEO DE RED ACTUAL Y DEL EPC [36].....	56
FIGURA 3-2: 5780 DSC – PLATAFORMA ATCA [37] .....	57
FIGURA 3-3: FAMILIA DE ROUTERS DE BORDE MULTISERVICIO 7750 SR [37].....	57
FIGURA 3-4: MÓDULO DE SERVICIOS INTEGRADO JUNTO CON EL 7750 SR [37] .....	58
FIGURA 3-5: COBERTURA DE CELDAS CON EL MODELO DE OKUMURA- HATA [41] .....	65
FIGURA 3-6 RENDIMIENTO POR SECTOR DE UNA ESTACIÓN BASE [42]	66
FIGURA 3-7: UBICACIÓN DE HOTELES CINCO ESTRELLAS.....	67
FIGURA 3-8: UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN BASE DE LA CANTUTA .....	73
FIGURA 3-9: UBICACIÓN DE ESTACIONES BASE EN ZONA HOTELERA DEL CUSCO .....	74
FIGURA 3-10: UBICACIÓN DE ESTACIÓN BASE EN URUBAMBA.....	74
FIGURA 3-11: UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN BASE EN MACHUPICCHU...	75
FIGURA 3-12: TOPOLOGÍA FINAL DE LA RED DE ACCESO .....	75
FIGURA 3-13: UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES BASE EN CUSCO .....	76
FIGURA 3-14: HUAWEI E398 Y SAMSUNG GT-B3710 LTE DONGLES .....	77
FIGURA 3-15: ENLACES SATISFACTORIOS EN LA RED DE TRANSPORTE .....	79

FIGURA 3-16: ENLACES SATISFACTORIOS EN LA PROVINCIA DE CUSCO  
..... 79



## Lista de Tablas

TABLA 1-1: EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIONES MÓVILES [2].....	16
TABLA 1-2: ELEMENTOS DE EPC Y SUS FUNCIONES [10].....	20
TABLA 1-3: BANDA DE FRECUENCIAS LTE FDD y LTE TDD [19] .....	22
TABLA 1-4: PARÁMETROS DE MODULACIÓN DEL DOWNLINK [6] .....	26
TABLA 1-5: NÚMERO DE PRBs PARA DISTINTOS ANCHOS DE BANDA [6] .....	27
TABLA 1-6: CANALES FÍSICOS DE DOWNLINK [6] .....	28
TABLA 1-7: CANALES DE TRANSPORTE DE DOWNLINK [6] .....	29
TABLA 1-8: PROCESAMIENTO DE LA CAPA FÍSICA DE DOWNLINK [8] ....	30
TABLA 1-9: PARÁMETROS DE MODULACIÓN DE UPLINK [10].....	31
TABLA 1-10: CANALES FÍSICOS DE UPLINK [11].....	32
TABLA 1-11: CANALES DE TRANSPORTE DE UPLINK [12].....	32
TABLA 1-12: PROCESAMIENTO DE LA CAPA FÍSICA DE UPLINK [8].....	33
TABLA 1-13: CANALES LÓGICOS DE CONTROL [15] .....	35
TABLA 1-14: Canales lógicos de tráfico [15].....	35
TABLA 2-1: DIVISIÓN POLÍTICA Y POBLACIÓN [26] .....	41
TABLA 2-2: DISTRIBUCIÓN DE LA PEA OCUPADA POR RANGO DE INGRESOS [26] .....	42
TABLA 2-3: DISTRIBUCIÓN DE LA PEA OCUPADA SEGÚN RANGO DE EDAD [26] .....	42
TABLA 2-4: ESTADÍSTICA DEL SECTOR AGRÍCOLA DEL CUSCO [27] .....	44
TABLA 2-5: COMPARACIÓN DE ARRIBOS NACIONALES Y EXTRANJEROS 2006 - SET 2009 [29] .....	45
TABLA 2-6: LUGARES DE CONEXIÓN A INTERNET EN EL CUSCO [31] ....	50
TABLA 2-7: ACCESO AL SERVICIO DE INTERNET [31] .....	50
TABLA 2-8: ESTACIONES BASE POR EMPRESA AL TERCER TRIMESTRE DEL 2009 [32] .....	50
TABLA 2-9: COBERTURA DE CUSCO POR OPERADOR [30] .....	51
TABLA 3-1: DATOS Y CARACTERÍSTICAS DE PROVEEDORES DE EQUIPOS EPC LTE [33].....	54
TABLA 3-2: LINK BUDGET DEL UPLINK [40] .....	62
TABLA 3-3: PLANES DISPONIBLES.....	68
TABLA 3-4: MERCADO INICIAL Y MERCADO FINAL .....	69
TABLA 3-5: CAPACIDAD TOTAL POR FASE .....	70
TABLA 3-6: CAPACIDAD TOTAL POR FASE EN LA HORA CARGADA .....	70
TABLA 3-7: VELOCIDADES DOWNLINK LTE [43] .....	71
TABLA 3-8: TERMINALES LTE [43] .....	71
TABLA 3-9: THROUGHPUT POR ESTACIÓN SIN Y CON OVERBOOKING .	71
TABLA 3-10: NÚMERO DE ESTACIONES BASE POR FASE .....	72
TABLA 3-11: UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES BASE .....	72
TABLA 4-1: CAPEX DEL PROYECTO .....	83
TABLA 4-2: OPEX DEL PROYECTO.....	85

TABLA 4-3: FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO (I).....	87
TABLA 4-4: FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO (II).....	88
TABLA 4-5: VAN Y TIR DEL PROYECTO .....	89



## Glosario

3G	Third Generation
3GPP	3 <sup>rd</sup> Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation
ACK/NAK	Acknowledged/Not Acknowledged
ADC	Analog-to-Digital Converter
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ARQ	Automatic Repeat request
	Advanced Telecommunications Computing
ATCA	Architecture
AWS	Advanced Wireless Services
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BER	Bit Error Rate
CAPEX	CAPital EXpenditures
CCCH	Common Control Channel
CP	Cyclic Prefix
CQI	Channel Quality Indicator
CRC	Cyclic Redundancy Check
DAC	Digital-to-Analog Converter
DCCH	Dedicated Control Channel
DFT	Discrete Fourier Transform
	Dirección Regional de Comercio Exterior y
DIRECTUR	Turismo
DL	Downlink
DL-SCH	Downlink Shared Channel
DTCH	Dedicated Traffic Channel
EDGE	Enhanced Data rate for GSM Evolution
EIRP	Equivalent isotropically radiated power
eNodeB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
EVDO	Evolution Data Optimized
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division Duplexing
FDM	Frequency Division Multiplexing
FEC	Forward Error Correction
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GGSN	Gateway GPRS Support Node
HARQ	Hybrid Automatic Repeat request
HLR	Home Location Register
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
HSPA	High-Speed Packet Access

HSS	Home Subscriber Service
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform
IMS	IP Multimedia Subsystem
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
IP	Internet Protocol
IPSec	Internet Protocol Security
KPI	Key Performance Indicators
LCID	Logical Channel Identifier
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MBSFN	Mobile Broadcast Single Frequency Network
MCCH	Multicast Control Channel
MCH	Multicast Channel
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
MTCH	Multicast Traffic Channel
MU-MIMO	Multi User-Multiple Input Multiple Output
NAS	Non Access Stratum
NOC	Network Operations Center
NSE	Nivel SocioEconómico
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OPEX	Operation Expenditures
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
PBCH	Physical Broadcast Channel
PBFICH	Physical Control Format Indicator Channel
PCCH	Paging Control Channel
PCH	Paging Channel
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDN	Packet Data Network
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PDU	Packet Data Unit
PEA	Población Económica Activa
P-GW	Packet Data Network Gateway
PHICH	Physical HARQ Indicator Channel
PHY	Physical Layer
PMCH	Physical Multicast Channel
PRACH	Physical Random Access Channel
PRB	Physical Resource Block
PS	Physical Slot
PSS	Packet-switched Streaming Service

PUCCH	Physical Uplink Control Channel
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPP	Quadratic Polynomial Permutation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RACH	Random Access Channel
RF	Radio Frequency
RF	Radio Frequency
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RoHC	Robust Header Compression
RRC	Radio Resource Control
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single Carrier – Frequency Division Multiple Access
SDU	Service Data Unit
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Serving Gateway
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio
SON	Self-Optimizing Network
TDD	Time Division Duplexing
TIR	Tasa Interna de Rentabilidad
TTI	Transmission Time Interval
UE	User Equipment
UGW	Unified GateWay
UIT	Unidad Impositiva Tributaria
UL	Uplink
UL-SCH	Uplink Shared Channel
UMB	Ultra Mobile Broadband
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USB	Universal Serial Bus
USN	Unified Service Node
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VAN	Valor Actual Neto
VoIP	Voice over Internet Protocol
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

## **Introducción**

Hoy en día, el mundo de las telecomunicaciones cobra cada vez mayor importancia e influencia en la vida de todos nosotros. Una de las áreas de mayor uso es el de las comunicaciones móviles, que está siempre en constante evolución.

Sus usuarios exigen mayor calidad en las llamadas, mejores costos tanto de los equipos como de los planes, amplia y mejor cobertura de los proveedores de servicio móvil y mejores servicios tales como video llamadas y diferentes aplicaciones que requieran de altas velocidades. Por otro lado, los operadores de telefonía móvil buscan optimizar su red para poder cumplir con todas estas exigencias.

Estas exigencias se deben a la aparición de nuevas tecnologías (OFDMA, SC-OFDMA) y estándares (LTE), así como a la evolución de algunas ya existentes (HSPA, WCDMA). También se debe al desarrollo de nuevos equipos móviles, nuevos programas informáticos, aplicaciones y servicios como los ya mencionados. Y todo hace indicar que el estándar que abrirá el paso y sentará las bases del 4G será LTE.

Este trabajo tiene como objetivo realizar un análisis social y económico del Cusco para poder luego realizar un estudio de mercado adecuado y de esa forma elegir la mejor ubicación para este diseño.

Posteriormente se hará todo el diseño de la red LTE haciendo cálculos de coberturas, cálculos de capacidad de estaciones base y la elección de los equipos a usar.

Para realizar todo este trabajo en su totalidad, en el primer capítulo se explicará todo el marco teórico que será la base para todo el diseño de la red LTE. En el segundo capítulo se hará el estudio del mercado y se elegirá la mejor ubicación para realizar el diseño. Luego en el tercer capítulo se analizará todas las tecnologías actuales en el núcleo, acceso y transporte de la red actual y todo lo referente a la ingeniería de red. Finalmente, en el cuarto capítulo se podrá observar toda la evaluación económica realizada.

## **Capítulo 1**

### ***Marco teórico y descripción general de LTE***

#### **1.1 Oportunidad de negocios**

El presente proyecto no tiene como objetivo fundamental solucionar un problema sino presentar una oportunidad de negocios. Esta oportunidad de negocios se basa en el uso de la tecnología Long Term Evolution (LTE) que permite altas tasas de transmisión de hasta 100 Mbps en el downlink, latencias bajas menores a 10 ms, alta eficiencia espectral en diferentes asignaciones de espectro que van de 1.4 a 20 MHz, flexibilidad de espectro desplegable en dichas asignaciones de espectro, eficiencia de costos que permite un ahorro en CAPEX y OPEX, una migración efectiva en cuanto al costo de los sistemas 3G actuales y una gestión de la red más simple. Todo esto aprovechando el sector turístico que existe en el departamento del Cusco.

#### **1.2 Justificación de la oportunidad**

Esta oportunidad de negocios le permitirá a los cusqueños y a los turistas contar con una mejor cobertura, disfrutar de mayores velocidades y una mejor calidad de servicio. Las empresas de telecomunicaciones tendrán la posibilidad de ofrecer distintos servicios y generar mayores ingresos, ahorrar en costos de instalación y de mejorar su actual infraestructura de red en el caso de las operadoras móviles.

Además para el país significará un progreso y desarrollo importantes en cuanto a tecnología e infraestructura, en especial para el departamento de Cusco.

### 1.3 Antecedentes de LTE

Long Term Evolution (LTE), término que corresponde a evolución a largo plazo, es la tecnología de comunicaciones móviles que dará paso a la siguiente generación. Esta tecnología permite unas velocidades de 50 Mbps y de 100 Mbps para uplink y downlink respectivamente (Tabla 1.1). La eficiencia espectral o el ancho de banda de LTE se encuentra en el rango de 1.4 MHz a 20 MHz [1].

**TABLA 1-1: EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIONES MÓVILES [2]**

	WCDMA (UMTS)	HSPA HSDPA/HSUPA	HSPA+	LTE	LTE Adv.
<b>Max Velocidad downlink (bps)</b>	384 K	14 M	28 M	100 M	1 G
<b>Max velocidad uplink (bps)</b>	128 K	5.7 M	11 M	50 M	500 M
<b>Retardo round trip time aproximado</b>	150 ms	100ms	50ms (máx.)	Aprox. 10 ms	Menos de 5 ms
<b>3GPP releases</b>	Rel 99/4	Rel 5/6	Rel 7	Rel 8	Rel 10
<b>Año aproximado de lanzamiento</b>	2003/4	2005/6 HSDPA 2007/8 HSUPA	2008/9	2009/10	
<b>Método de acceso</b>	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA / SC-FDMA	OFDMA / SC-FDMA

Las especificaciones técnicas para 3GPP LTE están bajo desarrollo y cada vez aparecen más detalles. En los releases 8 y 9 de 3GPP se explican todos los aspectos de LTE. El release 8 ya se ha completado y se desarrollaron aspectos sobre el núcleo y la capa física. Mientras que en el release 9 se desarrollan aspectos sobre las mejoras de LTE y la interoperabilidad entre LTE y UMTS [1].

## 1.4 Conceptos básicos

### 1.4.1 Sub-Portadora

Una sub-portadora es una portadora de banda angosta que se usa en comunicaciones basadas en OFDM. Estas sub-portadoras serán distribuidas sobre toda la banda de frecuencias asignada al usuario creando un espectro de hasta 1200 bandas angostas y portadoras ortogonales [3].

### 1.4.2 Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM)

La multiplexación por división de frecuencias (FDM) es un tipo de multiplexación en donde varias señales en banda base son moduladas en diferentes frecuencias de sub-portadoras que conformarán una única señal. La multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) está basado en FDM y utiliza sub-portadoras ortogonales para transmitir datos.

En comparación con los sistemas de una sola portadora que se basan en tasas de símbolos incrementados para mayores tasas de datos, los sistemas que se basan en OFDM dividen el ancho disponible en varias sub-portadoras angostas y transmiten datos en flujos paralelos.

Las ventajas de OFDM se resumen en su alta eficiencia espectral y su baja complejidad para la implementación. Empero, también posee algunas desventajas como una alta relación de potencia pico con respecto a la potencia promedio (PAPR) y una alta sensibilidad al offset de frecuencias [20].

### 1.4.3 Técnicas de múltiple acceso OFDMA y SC-FDMA

OFDMA es una extensión de OFDM y es usada en el downlink de LTE. Las sub-portadoras son asignadas dinámicamente a usuarios en diferentes time slots. Al igual que OFDM, tiene la ventaja de que un usuario puede transmitir y recibir en una trama de tiempo entera, pero reduce el PAPR distribuyendo el ancho de banda total a varias estaciones móviles usando poca potencia de transmisión.

SC-FDMA es también una extensión de OFDM y es usada en el uplink de LTE. Esta técnica reduce el PAPR de manera significativa en comparación con OFDMA transmitiendo en sub-portadoras en secuencia y no en paralelo como en OFDMA y agregando bloques adicionales de DFT e IDFT en transmisión y recepción (Figura

1.1). Pero debido a las similitudes con OFDMA, la parametrización de LTE en el downlink y uplink pueden ser armonizadas [14].

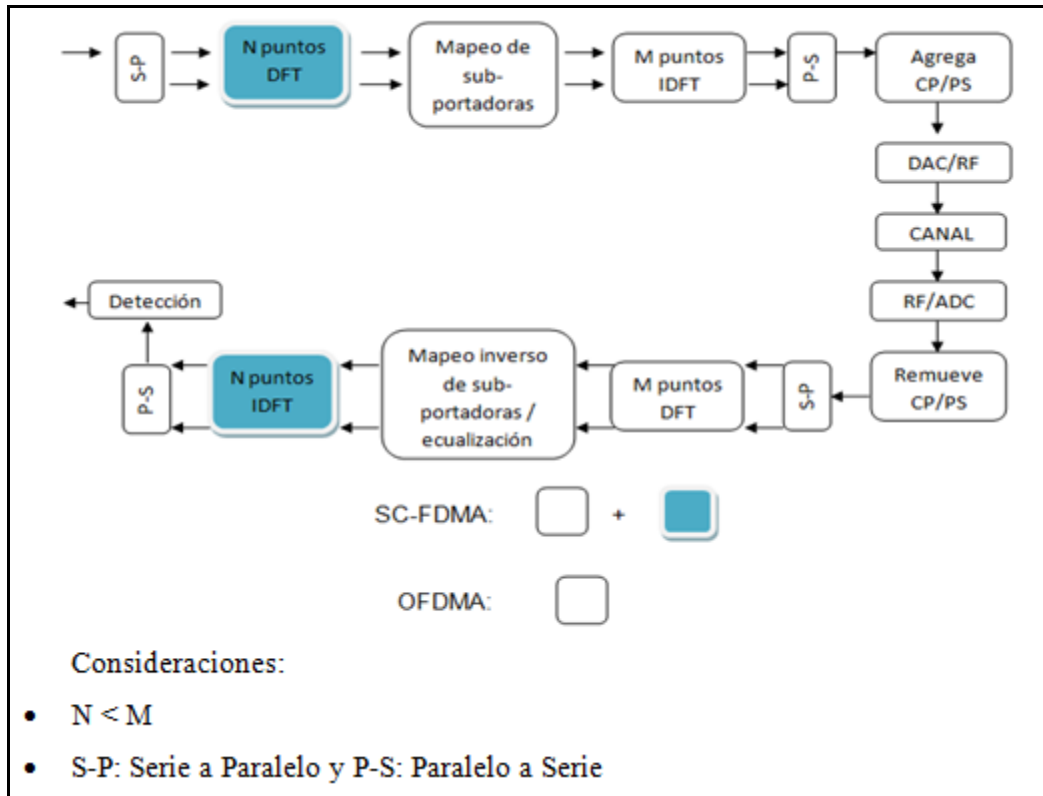


FIGURA 1-1: ESTRUCTURAS DE SC-FDMA Y OFDMA [4]

SC-FDMA tiene un procesamiento IDFT antes de la detección que lo hace menos sensible a un valor nulo en el espectro de canal. Además, en comparación con OFDMA que envía simultáneamente símbolos diferentes, SC-FDMA divide los símbolos en pequeños bloques y los envía en orden según el esquema de mapeo de sub-portadora que es implementado (Figura 1.2).

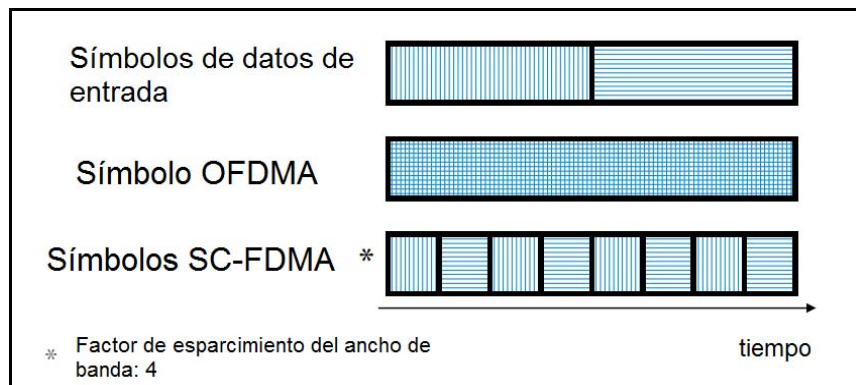


FIGURA 1-2: DIFERENCIA DE LA SEÑAL EN EL DOMINIO DEL TIEMPO [4]

## 1.5 Arquitectura de LTE

La arquitectura de LTE está compuesta por el núcleo de red y la red de acceso, donde la primera corresponde al EPC que proviene del SAE, mientras que la red de acceso hace referencia a la E-UTRAN. Ambas redes, tanto el núcleo de red como la de acceso, conforman el EPS. El EPS conecta a los usuarios a la PDN por medio de la dirección IP para acceder a distintos servicios como Internet y VoIP [18]. En la Figura 1.3 se muestran los elementos de EPS y sus interfaces.

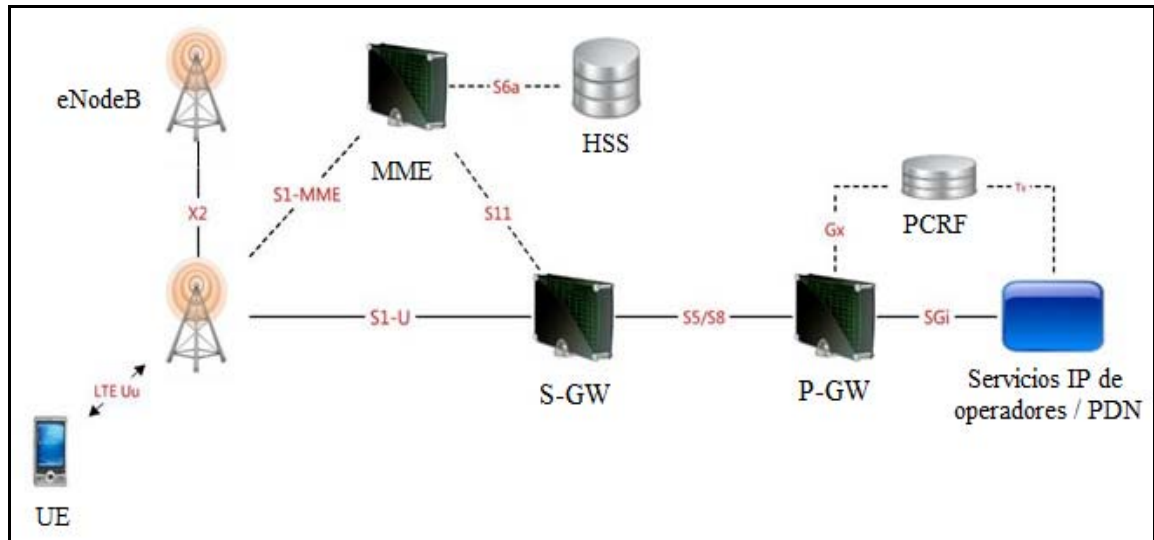


FIGURA 1-3: ELEMENTOS DE RED DE EPS [22]

### 1.5.1 Núcleo de Red

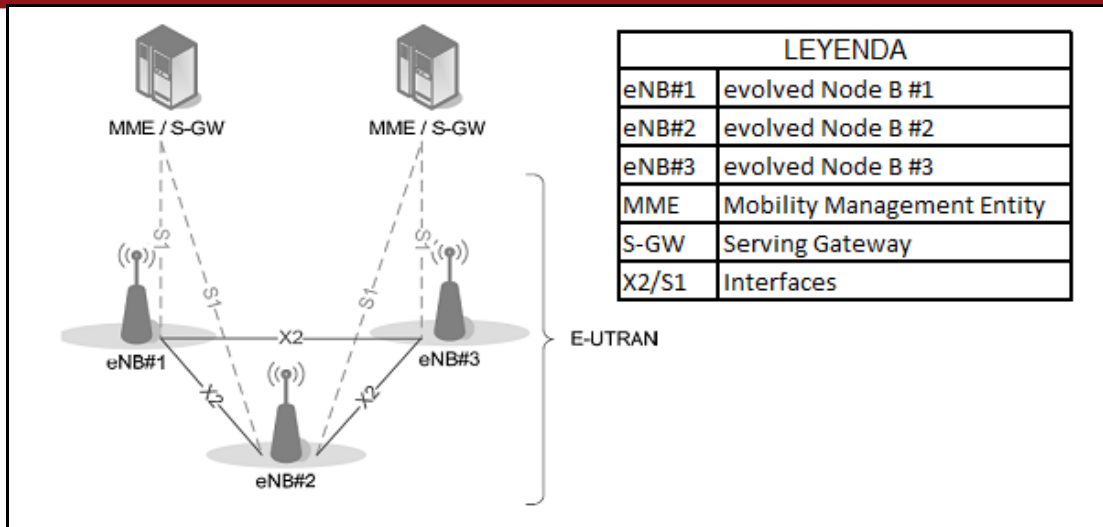
El núcleo de la red es conocido como EPC en el SAE y está compuesto por varios elementos que se observan en la Figura 1.3 y se detallan en la Tabla 1.2 con sus respectivas funciones. Los protocolos que se dan entre esta red y el UE se les conocen como protocolos NAS.

TABLA 1-2: ELEMENTOS DE EPC Y SUS FUNCIONES [10]

Elementos de EPC	Función
<b>MME</b>	Procesar información de señalización entre el núcleo de la red y el UE. Establecer, mantener y liberar portadores (bearers). Gestionar la seguridad y el establecimiento de la conexión entre el UE y la red.
<b>P-GW</b>	Asignar una dirección IP para un UE así como de realizar la facturación basada en el flujo. Encargado de la aplicación de los QoS.
<b>S-GW</b>	Transferir paquetes IP y almacenar información de movilidad local cuando un UE transita a través de varios eNodeB.
<b>PCRF</b>	Provee la autorización de QoS y controla las funciones de facturación basadas en el flujo.
<b>HSS</b>	También conocido como HLR. Contiene datos de la suscripción del usuario e información dinámica como la identificación del MME al que el usuario está conectado actualmente.

### 1.5.2 Red de acceso

La red de acceso también conocida como E-UTRAN está compuesta por una red de eNodeB conectados entre ellos a través de interfaces denominadas X2. Cada eNodeB está conectado a la EPC por medio de la interfaz S1 y está conectado a la MME a través de la interfaz S1-MME. Los protocolos que se dan entre el eNodeB y el UE se les conocen como protocolos AS [18]. En la Figura 1.3 y específicamente en la Figura 1.4 se muestra la arquitectura de la red E-UTRAN.



**FIGURA 1-4: ARQUITECTURA DE LA RED DE ACCESO LTE [16]**

Las principales obligaciones de la red de acceso son la gestión de recursos de radio, compresión de cabecera para que la interfaz de radio pueda ser usada eficientemente en el caso de paquetes pequeños de IP, seguridad en cuanto a la encriptación, y la conectividad con la EPC en cuanto al encaminamiento y la señalización [10].

## 1.6 Aspectos de radio y protocolos de la interfaz aire

### 1.6.1 Banda de frecuencias de LTE

En la Tabla 1.3 se muestran las distintas bandas de operación, las frecuencias de operación tanto para downlink como para uplink y el modo de duplexaje. Esta información será de mucha utilidad para elegir la banda de frecuencia en el diseño.

TABLA 1-3: BANDA DE FRECUENCIAS LTE FDD y LTE TDD [19]

Banda de operación E-UTRA	Downlink (MHz)	Uplink (MHz)	Modo de duplexaje
1	1920-1980	2100-2170	FDD
2	1850-1910	1930-1900	FDD
3	1710-1785	1805-1880	FDD
4	1710-1755	2110-2155	FDD
5	824-849	869-894	FDD
6*	830-840	875-885	FDD
7	2500-2570	2620-2690	FDD
8	880-915	925-960	FDD
9	1749.9-1784.9	1844.9-1879.9	FDD
10	1710-1770	2110-2170	FDD
11	1427.9-1452.9	1475.9-1500.9	FDD
12	698-716	728-746	FDD
13	777-787	746-756	FDD
14	788-798	758-768	FDD
15	Reservado	Reservado	FDD
16	Reservado	Reservado	FDD
17	704-716	734-746	FDD
18	815-830	860-875	FDD
19	830-845	875-890	FDD
33	1900-1920	1900-1920	TDD
34	2010-2025	2010-2025	TDD
35	1850-1910	1850-1910	TDD
36	1920-1990	1920-1990	TDD
37	1910-1930	1910-1930	TDD
38	2570-2620	2570-2620	TDD
39	1880-1920	1880-1920	TDD
40	2300-2400	2300-2400	TDD

\* Banda 6 no es aplicable.

### 1.6.2 Arquitectura de protocolos de LTE

Los datos provienen en forma de paquetes IP de capas superiores al PDCP que se encarga de la compresión de la cabecera junto con el cifrado. Los PDUs que se originan son enviados al RLC para un procesamiento posterior. El RLC primero reúne los PDUs en RLC SDUs y luego realiza una segmentación junto con la colocación de la cabecera. Luego los RLC PDUs son enviados a la capa MAC que reúne a los MAC SDUs y los convierte MAC PDUs. Estos PDUs son enviados a la capa física, que se encarga de la codificación y decodificación de datos y organiza los PDUs enviados por la capa MAC en bloques de transporte. En cada bloque de transporte, la capa física coloca un CRC [8]. Tanto la capa física como la capa MAC serán desarrolladas posteriormente. La arquitectura de protocolos de LTE se muestra en la Figura 1.5.

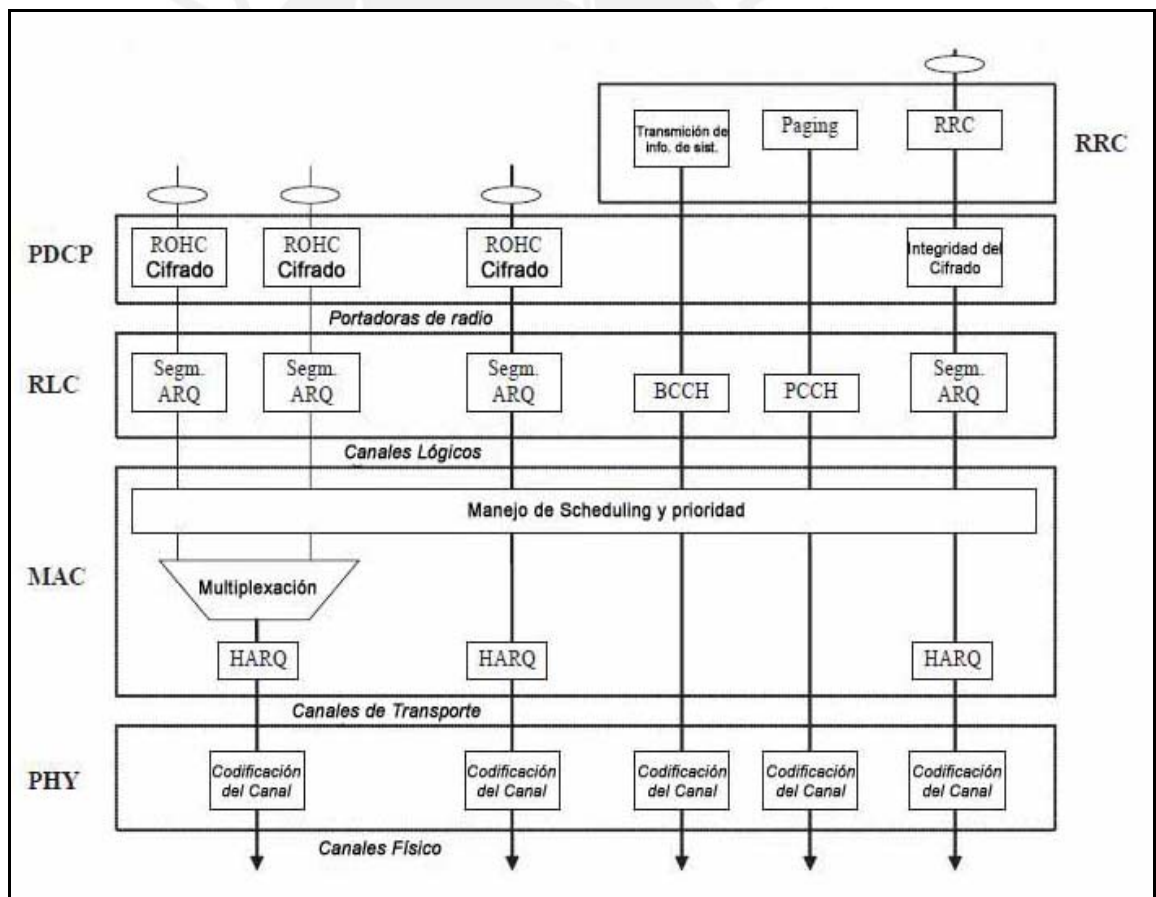


FIGURA 1-5: ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS LTE [7]

## 1.7 Capa física

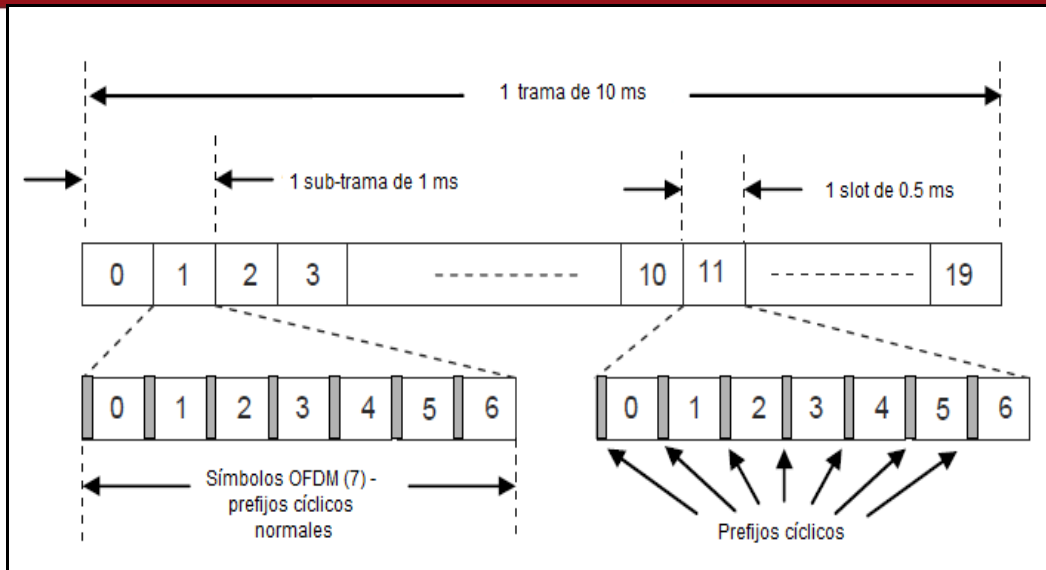
La capa física provee datos de servicio de transporte a capas superiores por intermedio de la sub-capa MAC. Las principales funciones de la capa física son las siguientes [5]:

- Detección de errores en el canal de transporte y reporte de las mismas a las capas superiores.
- Codificación y decodificación FEC.
- Tasa de adaptación.
- Mapeo del canal de transporte al canal físico.
- Modulación y demodulación del canal físico.
- Sincronización de tiempo y de frecuencia.
- Reporte de medidas del canal de radio a capas superiores.
- Procesamiento de señales de antenas MIMO, diversidad de transmisión y beamforming.

Ambos tipos de duplexaciones FDD y TDD son soportadas en la capa física de LTE y ambas comparten la misma estructura de trama (trama con duración de 10 ms y de 20 ranuras de tiempo). Pero cada canal de bajada y de subida es identificado con diferentes frecuencias y tiempos. Para FDD los canales son identificados en dos bandas de frecuencia distintas, mientras que para TDD los canales son identificados en distintas ranuras de tiempo.

### 1.7.1 Estructura de trama genérica

La trama genérica de LTE tiene una duración de 10ms y está sub dividida en 10 sub-tramas de 1ms de duración. Cada sub-trama es luego dividida en 2 ranuras de 0.5ms teniendo así 6 o 7 símbolos OFDM dependiendo de la longitud del CP. Cada ranura usa 7 símbolos OFDM en el caso de CP normal y 6 símbolos en el caso del CP extendido. La trama genérica para downlink y uplink se muestra en la Figura 1.6.



**FIGURA 1-6: ESTRUCTURA DE LA TRAMA GENÉRICA PARA DOWNLINK Y UPLINK DE LTE [6]**

En el caso de FDD, todas las sub-tramas son usadas tanto para transmisiones de subida como de bajada. En el caso de TDD, las sub-tramas 1 y 6 son usadas para transmisiones de downlink y las demás son usadas para downlink y uplink. Las sub-tramas 1 y 6 contienen señales de sincronización para el downlink [6].

### 1.7.2 Capa física LTE para transmisión downlink

#### i. Parámetros de modulación downlink

El esquema de transmisión usado en downlink es OFDM usando un prefijo cíclico CP. El espaciamento base entre sub-portadoras es de 15 KHz con una duración por símbolo de 66.67us. El downlink usa un espaciamento de 7.5 KHz con una duración de 133us en el caso de MBSFN. El MBSFN hace referencia a la red móvil usando una sola banda donde señales de broadcast y dedicadas comparten una frecuencia [7].

Hay dos tipos de CP que son usados dependiendo de las características del retardo de dispersión de la radio celda. El CP normal es usado en áreas urbanas o de frecuencias altas y el CP extendido es usado en áreas rurales y áreas con frecuencias bajas.

Los parámetros de transmisión para distintas configuraciones de ancho de banda de transmisión para LTE se muestran en la Tabla 1.4.

TABLA 1-4: PARÁMETROS DE MODULACIÓN DEL DOWNLINK [6]

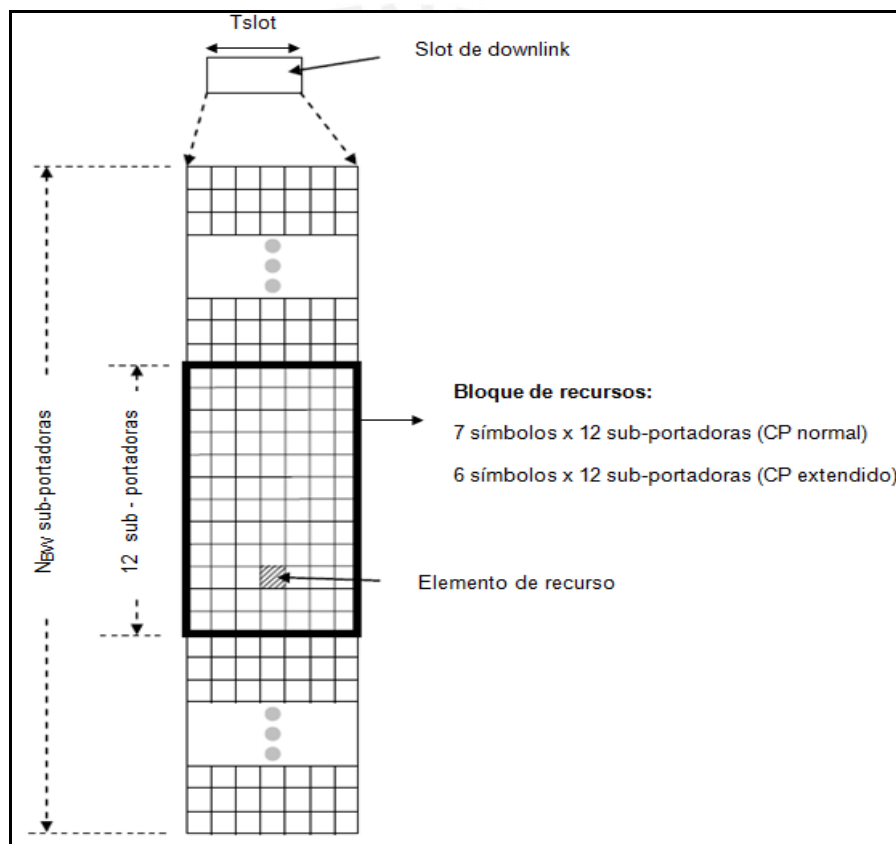
Parámetros	Valores					
Ancho de Banda de transmisión (MHz)	1.25	2.5	5	10	15	20
Duración de sub-trama (ms)	0.5					
Espaciamiento de sub-portadora (KHz)	15					
Frecuencia de muestreo (MHz)	1.92	3.84	7.68	15.36	23.04	30.72
Tamaño FFT	128	256	512	1024	1536	2048
OFDM símbolos por slot (CP normal/CP extendido)	7/6					
Longitud de CP (us/muestra) normal	(4.69/9)x6	(4.69/18)x6	(4.69/36)x6	(4.69/72)x6	(4.69/108)x6	(4.69/144)x6
	(5.21/10)x1	(5.21/20)x1	(5.21/40)x1	(5.21/80)x1	(5.21/120)x1	(5.21/160)x1
Longitud de CP (us/muestra) extendido	(16.67/32)	(16.67/64)	(16.67/128)	(16.67/256)	(16.67/384)	(16.67/512)

ii. Recursos físicos de downlink

Estos recursos consisten en bloques conocidos como PRBs (Physical Resource Blocks). Un PRB es el elemento más pequeño de la asignación de recursos realizado por el planificador de la estación base. Cada PRB consiste de 12 sub-portadoras consecutivas para 1 slot de 0.5 ms. El ancho de banda del PRB es de 180 KHz. Cada elemento de recurso corresponde a una sub-portadora para la duración de un símbolo OFDM. Por eso, dependiendo de la longitud del CP, un PRB comprende de 84 símbolos OFDM en el caso del CP normal y de 72 símbolos para el caso del CP extendido. El número de estos bloques depende del ancho de banda de banda de transmisión de LTE [6]. Esto se puede apreciar en la Tabla 1.5.

**TABLA 1-5: NÚMERO DE PRBs PARA DISTINTOS ANCHOS DE BANDA [6]**

Parámetros	Valores					
Ancho de banda de transmisión (MHz)	1.25	2.5	5	10	15	20
Ancho de banda de sub-portadora (KHz)	15					
Ancho de banda de PRBs (KHz)	180					
Número de PRBs disponibles	6	12	25	50	75	100



**FIGURA 1-7: RECURSOS FÍSICOS DE DOWNLINK [6]**

La Figura 1.7 se basa en la estructura de trama genérica de la Figura 1.6 y nos muestra, como ya se mencionó, que cada PRB consiste de 12 sub – portadoras con un espaciamiento de 15 KHz y 7 o 6 símbolos dependiendo del CP. En el downlink se puede soportar también un espaciamiento de 7.5KHz sólo para el caso del CP extendido con 24 sub-portadoras y 3 símbolos [17]. Entonces, si consideramos un CP normal, una PRB de 84 elementos de recursos (7 símbolos x 12 sub-portadoras = 84) corresponde a un slot en el dominio del tiempo, mientras que una PRB de 180

KHz (15KHz x 12 sub-portadoras = 180) corresponde al dominio de la frecuencia [6].

### iii. Canales físicos de downlink

Los canales físicos transmiten información de las capas superiores y son mapeados en los canales de transporte. En la Tabla 1.6 se detallan los canales que son soportados así como sus principales funciones.

**TABLA 1-6: CANALES FÍSICOS DE DOWNLINK [6]**

<b>Canales</b>	<b>Función</b>
<b>PBCH</b>	Lleva la información de paging y de señalización de control. Usa modulación QPSK.
<b>PBFICH</b>	Contiene el número de símbolos OFDM usados por el PDCCH.
<b>PDCCH</b>	Usado para llevar la información de señalización de control al UE.
<b>PHICH</b>	Lleva las respuestas ACK/NAK de ARQ híbrido. Usa modulación QPSK.
<b>PDSCH</b>	Utilizado para transportar datos y servicios multimedia. Usa modulaciones QPSK, 16-QAM, 64-QAM.
<b>PMCH</b>	Lleva datos de multicast. Usa modulaciones QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

### iv. Canales de transporte de downlink

Los canales de transporte son los intermediarios entre la MAC y la capa física para transmitir información a la MAC y capas superiores. En la Tabla 1.7 se detallan los canales que son soportados así como sus principales funciones.

TABLA 1-7: CANALES DE TRANSPORTE DE DOWNLINK [6]

Canales	Función
<b>BCH</b>	Usado para transmitir parámetros del sistema.
<b>DL-SCH</b>	Lleva información del usuario para una conexión de punto a punto.
<b>PCH</b>	Lleva información de paging para mover al dispositivo del estado RRC_IDLE al estado RRC_CONNECTED.
<b>MCH</b>	Usado para transferir datos de multicast al UE.

v. Procesamiento de la capa física de downlink

El procesamiento se da entre la MAC y la capa física mediante datos en bloques de transporte que recibe ésta última. En la Tabla 1.8 se detalla todos los pasos del proceso.

TABLA 1-8: PROCESAMIENTO DE LA CAPA FÍSICA DE DOWNLINK [8]

Pasos	Función
<b>Inserción de CRC</b>	Un CRC es calculado e insertado al inicio de cada bloque. El CRC permite por el lado del receptor la detección de errores residuales en el bloque decodificado.
<b>Codificación de canal</b>	Usa un turbo código basado en QPP [9].
<b>Procesamiento ARQ híbrido</b>	Su tarea es extraer de los bloques el número exacto de bits a ser transmitidos dentro de un TTI dado.
<b>Scrambling</b>	El scrambling de data codificada asegura que la decodificación por el lado del receptor pueda utilizar la ganancia de procesamiento dado por el código de canal.
<b>Modulación</b>	El downlink soporta modulaciones QPSK, 16-QAM, 64-QAM.
<b>Mapeo de antenas</b>	Procesa de forma conjunta la modulación de símbolos correspondientes a dos bloques de transporte y mapea el resultado a diferentes antenas.
<b>Mapeo de bloques de recurso</b>	Mapea los símbolos a ser transmitidos en cada antena a elementos de recursos del conjunto de bloques asignados al planificador MAC para la transmisión de los bloques de transporte.

### 1.7.3 Capa física LTE para transmisión uplink

#### i. Parámetros de modulación uplink

El esquema es similar al downlink en cuanto a la mayoría de parámetros y los valores observados en la Tabla 1.4. Pero difiere en cuanto a la duración del CP por símbolos. En la Tabla 1.9 se tiene una lista de parámetros con sus respectivos valores.

TABLA 1-9: PARÁMETROS DE MODULACIÓN DE UPLINK [10]

Parámetros	Valores
Espaciamiento de sub-portadora (KHz)	15
Duración de sub-trama (ms)	0.5
SC-FDMA símbolos por slot (CP normal/CP extendido)	7/6
Duración de CP normal (us)	Símbolo #0: 5.2 Símbolo #1-6: 4.7
Duración de CP extendido (us)	Símbolo #0-5: 16.67
Número de PRBs mínimo	6
Número de PRBs máximo	100

ii. Recursos físicos de uplink

Están conformados de igual manera que para el downlink con la única diferencia que en el downlink puede soportar un espaciamento de frecuencia de 7.5KHz.

iii. Canales físicos de uplink

En la Tabla 1.10 se detallan los canales que son soportados así como sus principales funciones.

TABLA 1-10: CANALES FÍSICOS DE UPLINK [11]

Canales	Función
<b>PRACH</b>	Lleva la información de preámbulo del acceso aleatorio, que consiste de las longitudes del CP y de la secuencia. Estos preámbulos son generados por las secuencias de Zadoff-Chu que reducen el PAPR y el BER [6].
<b>PUSCH</b>	Lleva datos del usuario para transmisión y soporta modulaciones QPSK, 16-QAM, 64-QAM.
<b>PUCCH</b>	Lleva la información de control del uplink. En cuanto a sincronización se encarga de realizar reportes CQI, petición de programación y de llevar respuestas HARQ ACK/NACK. Usa modulaciones QPSK y BPSK.

## iv. Canales de transporte de uplink

En la Tabla 1.11 se detallan los canales que son soportados y sus funciones.

TABLA 1-11: CANALES DE TRANSPORTE DE UPLINK [12]

Canales	Función
<b>RACH</b>	Usado para requerimientos de acceso aleatorio y para transmitir información mínima de control.
<b>UL-SCH</b>	Usado para transmitir datos de transferencia del uplink. Usado por varios canales lógicos.

## v. Procesamiento de la capa física del uplink

El proceso en el uplink es muy similar al del downlink con la diferencia que no se establece la transmisión de diversidad y multiplexación espacial, no hay funciones de mapeo de antenas. Además cada bloque de transporte de tamaño dinámico es transmitido para cada TTI. En la Tabla 1.12 se detalla todos los pasos del proceso [8].

TABLA 1-12: PROCESAMIENTO DE LA CAPA FÍSICA DE UPLINK [8]

Pasos	Función
Inserción de CRC	Un CRC es calculado e insertado al final de cada bloque de transporte.
Codificación de canal	Usa un turbo código basado en QPP similar al del downlink.
Procesamiento ARQ híbrido	Similar al del downlink con diferencia en los protocolos usados.
Scrambling	Similar al del downlink especificado para terminales móviles donde cada terminal usa una secuencia de scrambling única.
Modulación	Al igual que el downlink soporta modulaciones QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

#### 1.7.4 Técnicas de multi-antenas en LTE

MIMO es la técnica usada para incrementar las velocidades y expandir la cobertura que se desea para tecnologías de cuarta generación. Esto se hace posible en LTE usando configuraciones de antena como 2x2 o 4x4 y usando el beamforming [9].

##### i. MIMO en el downlink

En el downlink se usan configuraciones de antena de 2x2 y de 4x4. Diferentes modos de transmisión son posibles en el downlink como la transmisión con una única antena, diversidad de transmisión, multiplexación espacial (lazo abierto o cerrado), MU-MIMO y beamforming [13].

##### ii. MIMO en el uplink

En el uplink solo se usa MU-MIMO debido a que se quiere seguir conservando la baja complejidad de los terminales móviles. Múltiples usuarios con distintos terminales con una sola antena de transmisión, usan el mismo canal [13].

### 1.8 Capa MAC

La capa 2 de LTE está compuesta por la MAC, RLC y PDCP. Entre las funciones generales de la capa 2 se encuentran [14]:

- El mapeo de los canales lógicos sobre los canales físicos.
- La segmentación y montaje de RLC PDU.
- El aseguramiento y la entrega de datos ARQ/HARQ.
- Selección del formato de transporte.

En esta sección nos centraremos solo en desarrollar la MAC debido a que tiene a su cargo las funciones más importantes tales como enviar o recibir PDUs a o desde la capa física a través de los canales de transporte, realizar las transmisiones y retransmisiones HARQ, realizar la multiplexación y demultiplexación de los canales lógicos y del scheduling tanto del downlink como del uplink. Esta capa MAC está conectada con el RLC. La RLC tiene como sus funciones más relevantes la corrección de errores a través de ARQ y de la segmentación. La sub-capa RLC está a su vez conectada con la PDCP. La PDCP tiene como sus funciones más relevantes la compresión de la cabecera usando el protocolo RoHC y se encarga de todo lo referente a la seguridad (detección de duplicidad, cifrado) [21]. La organización de la capa 2 se puede apreciar en la Figura 1.8.

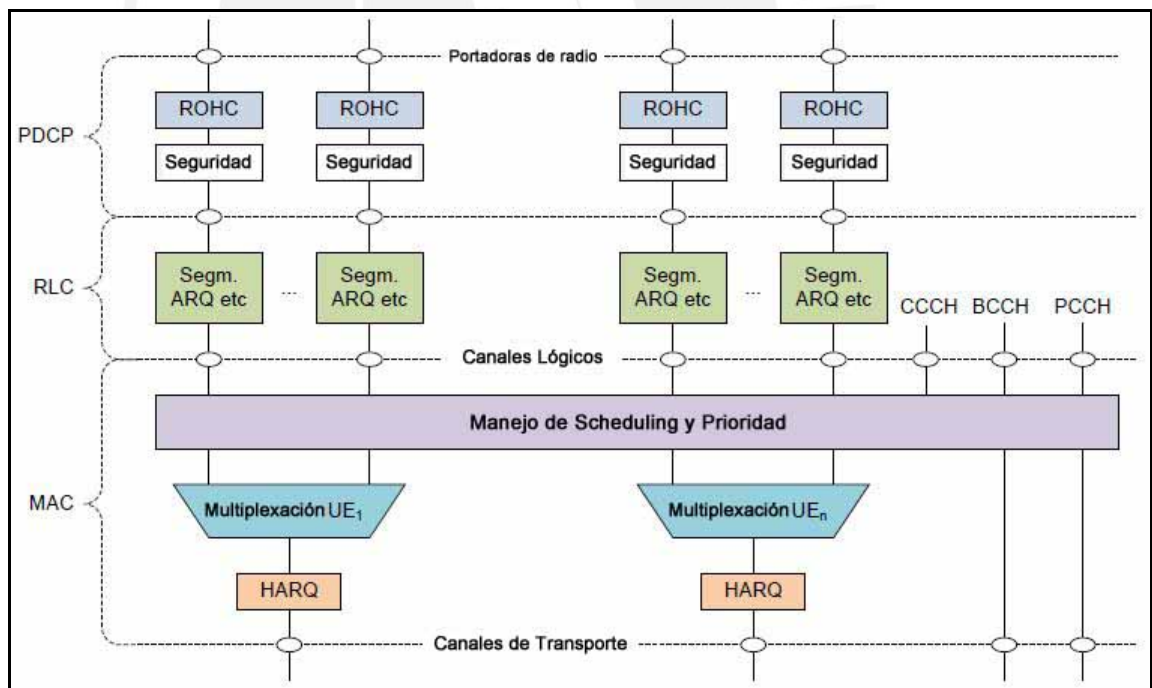


FIGURA 1-8: ORGANIZACIÓN DE LA CAPA 2 DE LTE [15]

### 1.8.1 Canales lógicos

La capa MAC transfiere datos hacia o desde la capa RLC a través de canales denominados canales lógicos. Estos canales y sus funciones se detallan a continuación en la Tabla 1.13 y Tabla 1.14.

**TABLA 1-13: CANALES LÓGICOS DE CONTROL [15]**

Canales lógicos de control	Función
<b>PCCH</b>	Transmitir información de control de paging cuando la ubicación de la celda del UE es desconocida para la red. Canal de downlink.
<b>BCCH</b>	Transmitir información de control del sistema a los terminales móviles a través de una celda. Canal de downlink.
<b>CCCH</b>	Usado para transmisión regular de control de información entre los UE y los eNodeB.
<b>DCCH</b>	Trasmitir información de control dedicada hacia o desde un UE específico. Usado cuando se tiene una conexión RRC con el eNodeB. Canal bi-direccional de punto a punto [16].
<b>MCCH</b>	Transmitir información de control MBMS de la red al UE para uno o varios MTCHs. Canal usado exclusivamente por UEs que reciben MBMS. Canal de punto a multi-punto de downlink.

**TABLA 1-14: Canales lógicos de tráfico [15]**

Canales lógicos de tráfico	Función
<b>MTCH</b>	Transmitir datos de tráfico de la red al UE. Canal usado exclusivamente por UEs que reciben MBMs. Canal de punto a multi-punto de downlink.
<b>DTCH</b>	Transferir información del usuario. Dedicado para un solo UE y puede existir tanto para uplink como para downlink.

### 1.8.2 Flujo de datos en la capa MAC

La capa MAC recibe data en forma de SDUs de la capa RLC. Los SDUs son combinados junto con la cabecera MAC y los elementos de control para formar los PDUs. La cabecera MAC está dividida en sub-cabeceras que tienen un identificador lógico de canal (LCID) y un campo de longitud. El LCID indica qué tipo de

elementos de control son usados en el campo de carga útil o indica el tipo de canal [10].

## 1.9 Capa RRC

El RRC es un protocolo de señalización que soporta varias funciones entre el eNodeB y el terminal. Entre las funciones más importantes se encuentran [7]:

- Gestión de conexión RRC.
- Establecimiento y liberación de recursos de radio.
- Transmisión de información del sistema.
- Paging.
- Transmisión de mensajes de señalización desde y hacia el EPC.
- Control de mediciones desarrolladas por el terminal.
- Handover.
- Transferencia de contexto del usuario entre el eNodeB en el handover.

### 1.9.1 Estados RRC

Los estados del protocolo RRC han sido definidos para gestionar las conexiones entre el terminal y la red E-UTRAN. Estos estados son dos: RRC\_IDLE y RRC\_CONNECTED.

- RRC\_IDLE: En este estado no hay conexión entre el terminal y el eNodeB; es decir, el terminal no es conocido por la red de acceso E-UTRAN.
- RRC\_CONNECTED: Hay una conexión activa entre el terminal y el eNodeB y desde ambos puntos se puede intercambiar información del usuario y mensajes de señalización sobre canales lógicos.

## **Capítulo 2**

### ***Evaluación socio-económica del Cusco***

#### **2.1 Introducción**

En este capítulo se presentará algunos datos e información detallada de la sociedad del Cusco y de la situación económica del departamento. Se presentará también una proyección del mercado actual para darnos una idea de lo que se viene en estos 10 años. Además se hará un análisis con toda la información antes mencionada para determinar el mercado potencial, tanto en áreas de cobertura como en el aspecto de los clientes.

#### **2.2 Información socio-económica de la zona**

##### **2.2.1 Ubicación geográfica**

El departamento del Cusco se encuentra ubicado en la zona sur oriente del Perú y limita en el norte con el departamento de Ucayali, en el sur con los departamentos de Arequipa y Puno, en el oeste con Apurímac, Ayacucho y Junín, y en el este con Madre de Dios. Se ubica entre las coordenadas geográficas 11° 13'19", latitud sur, 72° 59'52" y 73° 57' 45", longitud oeste [23]. En la Figura 2.1 se puede apreciar la ubicación exacta del Cusco con respecto al país.

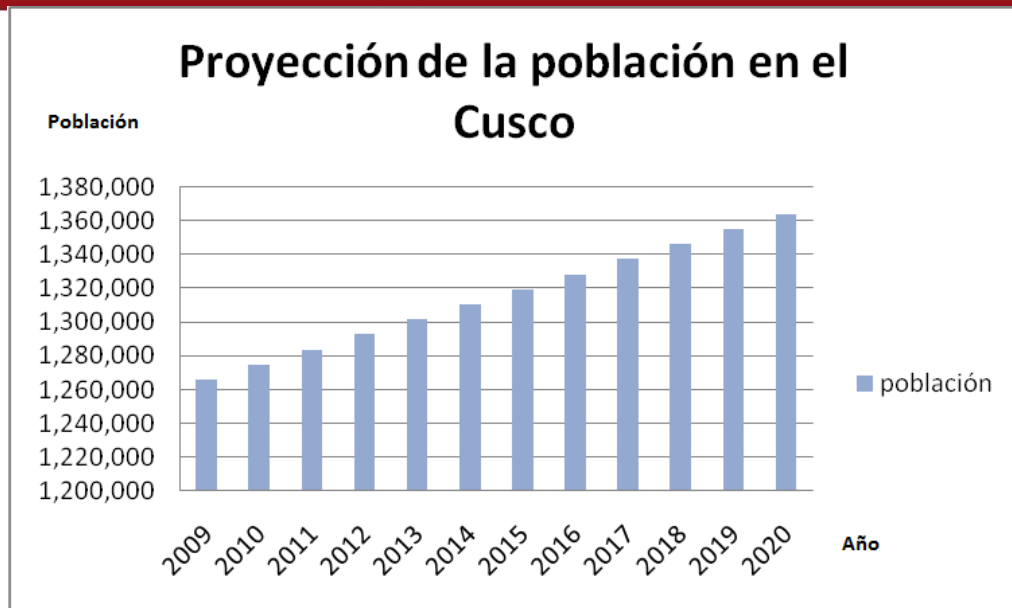


FIGURA 2-1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CUSCO [33]

## 2.2.2 Análisis de la población

### i. Proyección de la población

Según el último censo realizado en el 2007, el Cusco tiene 1,171,403 habitantes y posee una superficie de 71,986.5 km<sup>2</sup> con una densidad de población de 16.3 Hab/km<sup>2</sup>. Y según un estudio de la población proyectada por departamentos del INEI, el Cusco tendrá aproximadamente 1,274,742 habitantes este año 2010. En la Figura 2.2 se aprecia la proyección de la población del Cusco del 2009 hasta el 2020 [24].



**FIGURA 2-2: PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN EN EL CUSCO [24]**

ii. División política y densidad poblacional

La población del Cusco está repartida en sus 13 provincias que son: Acomayo, Anta, Calca, Canas, Canchis, Chumbivilcas, Cusco, Espinar, La Convención, Paruro, Paucartambo, Quispicanchi y Urubamba, siendo la provincia de Cusco la capital del departamento. Estas provincias a su vez cuentan con 108 distritos [25]. En la Figura 2.3 se puede ver la división política y las provincias antes mencionadas.



**FIGURA 2-3: DIVISIÓN POLÍTICA DEL CUSCO [34]**

Uno de los factores importantes para encontrar las provincias y las localidades más importantes es analizando dónde se encuentra el grueso de la población. En la Tabla 2.1 mostramos las 13 provincias antes mencionadas con su respectiva densidad poblacional.

TABLA 2-1: DIVISIÓN POLÍTICA Y POBLACIÓN [26]

Departamento/Provincias	Superficie(km <sup>2</sup> )	Población(hab)	Densidad Poblacional (hab/ km <sup>2</sup> )
<b>Cusco</b>	<b>71,986.50</b>	<b>1,169,927</b>	<b>16.25</b>
Cusco	617.00	364,814	591.27
Acomayo	948.22	27,794	29.31
Anta	1,876.12	54,820	29.22
Calca	4,414.49	65,655	14.87
Canas	2,103.76	38,973	18.53
Canchis	3,999.27	97,967	24.50
Chumbivilcas	5,371.08	76,390	14.22
Espinar	5,311.09	62,998	11.86
La Convención	30,061.82	166,103	5.53
Paruro	1,984.42	31,356	15.80
Paucartambo	6,295.01	46,366	7.37
Quispicanchi	7,564.79	81,484	10.77
Urubamba	1,439.43	54,496	37.86

Se puede ver en la Tabla 2.1 que la provincia con mayor población y densidad es la provincia de Cusco seguido por Urubamba, Acomayo y Anta. Pero es en la provincia del Cusco, capital del departamento, en donde se concentra aproximadamente la tercera parte de la población total. Además, geográficamente Urubamba, Acomayo y Anta están muy cerca del Cusco por lo que toda esa área es importante demográficamente.

### 2.2.3 Análisis de la economía

#### i. Distribución de la PEA por rango de ingresos

Según el Ministerio de Trabajo y Promoción del empleo en el departamento de Cusco la Población Económica Activa (PEA) ocupada llegaba a 915,671 personas al año 2006. La Tabla 2.2 muestra el rango de ingresos mensuales y el número de personas que los perciben.

TABLA 2-2: DISTRIBUCIÓN DE LA PEA OCUPADA POR RANGO DE INGRESOS [26]

Rango de ingresos mensuales (soles)	Total PEA Ocupada 2006	
	915,671	100.0
Sin ingreso	358,943.0	39.2
Menos de 200	225,255.1	24.6
200 a 399.9	154,748.4	16.9
400 a 599.9	63,181.3	6.9
600 a 799.9	34,795.5	3.8
800 a 999.9	19,229.1	2.1
1000 a 1999.9	50,361.9	5.5
2000 a 3999.9	5,494.0	0.6
4000 a más	2,747.0	0.3

Se ve claramente que los ingresos de la mayoría son muy bajos en general y que solo el 9.6% percibe un ingreso mensual mayor a S/.600.

ii. Distribución de la PEA según rango de edad

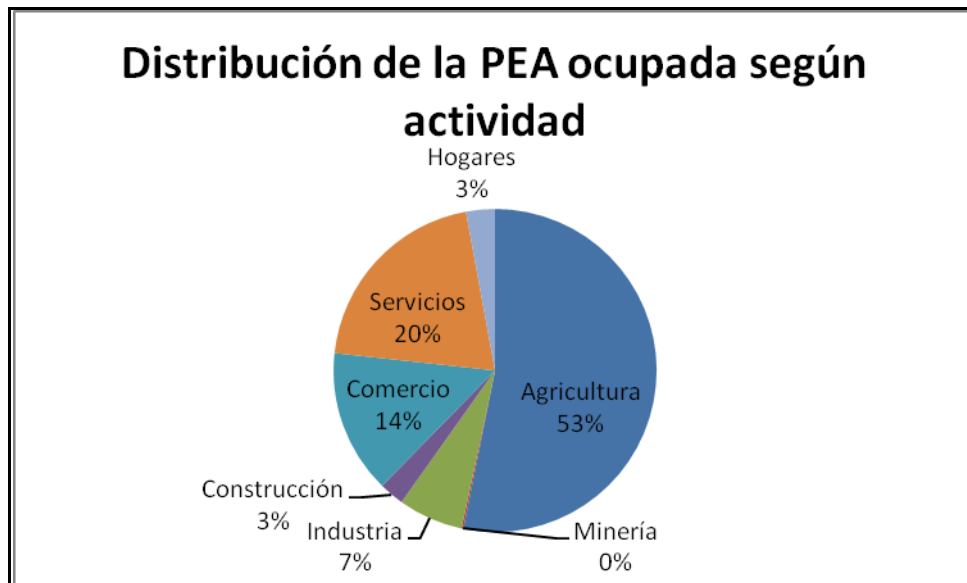
Según el Ministerio de Trabajo y Promoción del empleo en el departamento de Cusco, la Población Económica Activa (PEA) se concentra entre los 14 y 39 años de edad [26]. La Tabla 2.3 muestra el rango de edades y el número de personas en ese rango.

TABLA 2-3: DISTRIBUCIÓN DE LA PEA OCUPADA SEGÚN RANGO DE EDAD [26]

Rango de Edad (Años)	Total PEA Ocupada 2007	
	454,141	100.0
14-29	167,128	36.8
30-39	109,110	24.0
40-49	80,788	17.8
50-59	48,777	10.7
60 a más	48,338	10.6

### iii. Distribución de la PEA según actividad

Según el Ministerio de Trabajo y Promoción del empleo en el departamento de Cusco, la mayoría de la Población Económica Activa (PEA) realiza actividades referentes a la agricultura, seguidas de servicio y comercio [26]. La Figura 2.4 muestra una lista de actividades con el porcentaje respectivo de la PEA según su actividad.



**FIGURA 2-4: DISTRIBUCIÓN DE LA PEA OCUPADA SEGÚN ACTIVIDAD [26]**

### iv. Sectores económicos de mayor importancia

En este punto vamos a explicar los sectores productivos y económicos más relevantes que son la agricultura y el turismo.

En el caso de la agricultura, la papa es el producto más cosechado y también el más producido, siguiéndole el maíz amiláceo.

TABLA 2-4: ESTADÍSTICA DEL SECTOR AGRÍCOLA DEL CUSCO [27]

Producto	Superficie Cosechada (Ha)				Producción (Tonelada)			
	2006	2007	2008	2009	2006	2007	2008	2009
Papa	29,936	28,237	29,212	33,093	285,709	288,272	265,843	328,767
Maíz Amiláceo	27,231	21,349	23,541	26,683	58,719	54,985	50,830	62,492
Café	-	-	-	-	35,029	21,875	37,387	32,620
Cebada grano	15,873	-	16,474	16,403	22,017	24,018	23,079	25,697
Trigo	12,635	10,807	12,893	12,267	20,196	18,547	19,363	20,454
Haba grano	10,983	8,970	11,728	12,426	15,272	17,639	16,530	19,392
Maíz Amarillo duro	5,281	5,694	5,803	5,827	7,702	10,451	9,897	9,932
Soya	251	233	317	256	304	345	450	423

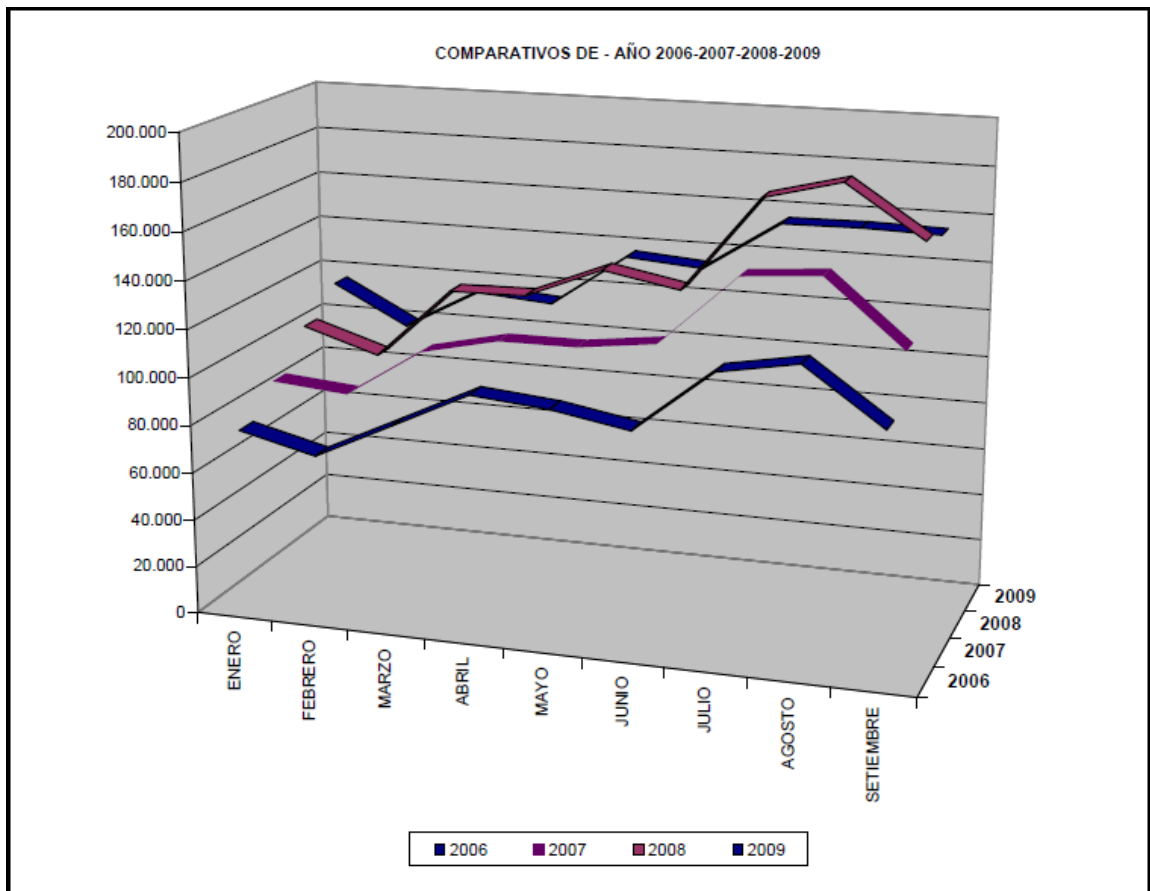
En el caso del turismo, Cusco es el departamento más visitado por los turistas después de Lima. Según el titular de la Dirección Regional de Comercio Exterior y Turismo (DIRECTUR), Cusco recibió más de un millón y medio de turistas en el 2009, de los cuales 900 mil corresponderían a turistas extranjeros. Además, al mes de junio del 2009, Cusco cuenta con 4 hoteles de 4 y 5 estrellas, 40 hoteles de 3 estrellas, 35 de 2 estrellas, 12 de 1 estrella, 3 albergues y 925 establecimientos no categorizados haciendo un total de 1,023 establecimientos de hospedaje. La mayoría de estos hoteles se ubican en la provincia de Cusco [28].

En la Tabla 2.5 se tiene una comparación de arribos nacionales y extranjeros a la región Cusco del 2006 a setiembre del 2009. Y en la Figura 2.5 se tiene una comparación más detallada por meses, desde enero hasta setiembre. Tanto de lo expuesto previamente, como de la Tabla 2.5 y de la Figura 2.5, se observa que los arribos bajaron levemente del 2008 al 2009.

Según DIRECTUR, los arribos nacionales bajaron en un 4.26% y los extranjeros en un 1.91%. Esto de alguna forma fue positivo para el Cusco, ya que a pesar de la crisis mundial y de la influenza AH1N1, siguió recibiendo visitas por parte de los turistas [29].

**TABLA 2-5: COMPARACIÓN DE ARRIBOS NACIONALES Y EXTRANJEROS 2006 - SET 2009 [29]**

	Nacional	Extranjero	Total
2006	422,346	720,693	1,143,039
2007	503,872	897,572	1,401,444
2008	588,735	1,055,855	1,644,590
Set-2009	459,453	723,166	1,182,619



**FIGURA 2-5: COMPARACIÓN DE ARRIBOS TOTALES 2006 - SET 2009 [29]**

## 2.3 Estudio del mercado de telefonía móvil

### 2.3.1 Situación actual del mercado

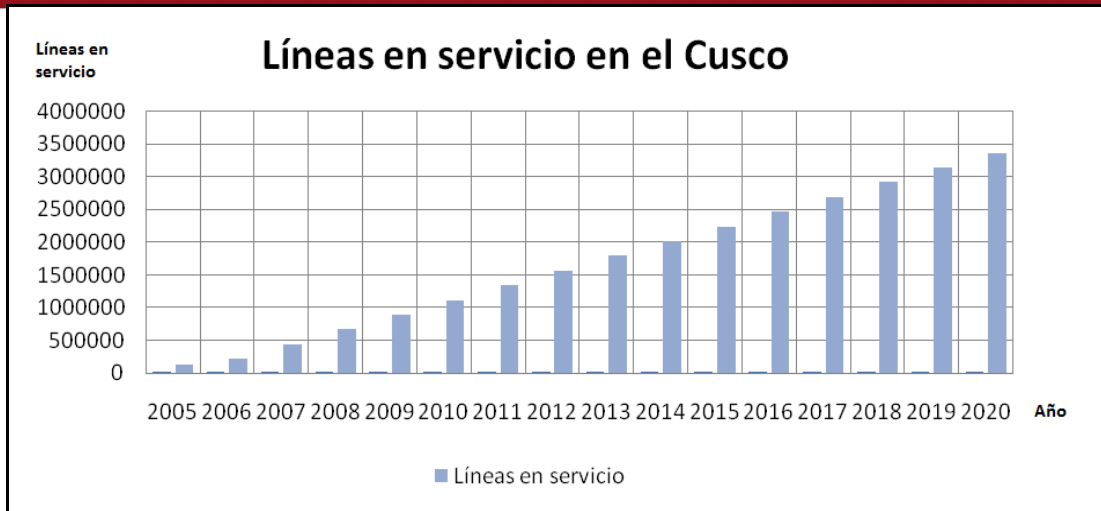
Actualmente el Cusco cuenta con tres operadores móviles (Movistar, Claro y Nextel) que cuentan con redes 2G y 3G. Claro y Movistar están en una lucha permanente por acaparar más clientes, pero es Claro el que se perfila para ganar la mayor parte del mercado. En el caso de Nextel no hay informes estadísticos recientes pero su posición dentro del mercado cusqueño es para un grupo selecto, por lo que no se le incluirá dentro del análisis. A nivel nacional es Movistar el que lidera el mercado móvil, pero hay departamentos como es el caso del Cusco, en donde su gente es muy nacionalista en comparación con el resto de departamentos.

Si analizamos las líneas en servicio, en las de control, Movistar sigue superando a Claro, pero la tendencia indica que para el 2010, Claro superará a Movistar. En las líneas post-pago es Claro quien actualmente supera a Movistar y en el caso de las líneas pre-pago es Movistar quien supera ligeramente a Claro, pero las estadísticas hacen indicar que Claro lo sobrepasará.

### 2.3.2 Proyección del mercado móvil

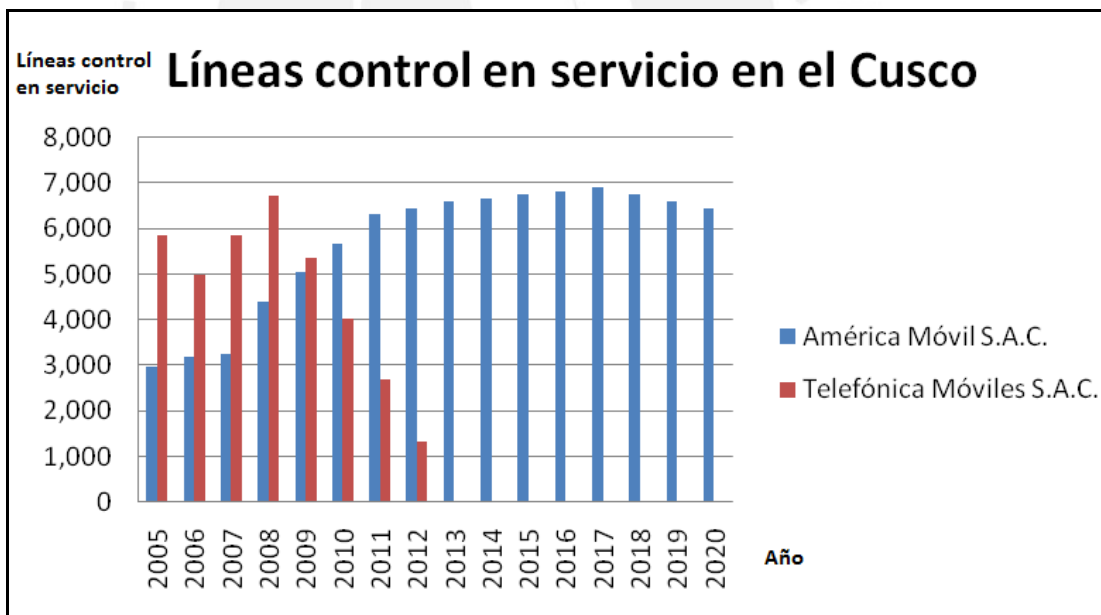
Debido a que LTE es una tecnología a largo plazo, haremos una proyección de mercado de acá a 10 años; es decir, hasta el año 2020. Con esto obtendremos el número aproximado de líneas en servicio basándonos en el crecimiento con respecto a años anteriores, para luego analizar que tan rentable puede resultar implementar LTE en el Cusco.

En la Figura 2.6 se puede ver las líneas en servicio en el Cusco proyectadas al 2020 y lo que se puede analizar del gráfico es que del 2006 al 2007 las líneas se duplicaron de 218,709 a 436,982. Además del 2008 al 2009 se tuvo un incremento del 33.9% llegando a la cifra de 889,386. Si este incremento se mantuviese sostenidamente, para el año 2020 habría un total aproximado de 3, 336,377 líneas en servicio [30].



**FIGURA 2-6: PROYECCIÓN DE LÍNEAS MÓVILES EN SERVICIO EN EL CUSCO [30]**

En la Figura 2.7 se puede ver la proyección de las líneas de control hasta el 2020 y en ella se puede apreciar la superioridad de América Móvil sobre Movistar. Pero las líneas de control no son tan relevantes ya que no se compara con el número de líneas pre-pago y post-pago.



**FIGURA 2-7: PROYECCIÓN DE LÍNEAS CONTROL EN SERVICIO EN EL CUSCO [30]**

En la Figura 2.8 y en la Figura 2.9 se sigue manteniendo la tendencia de que América Móvil es el operador que los clientes prefieren para adquirir los servicios que necesitan tanto en líneas pre-pago como post-pago.

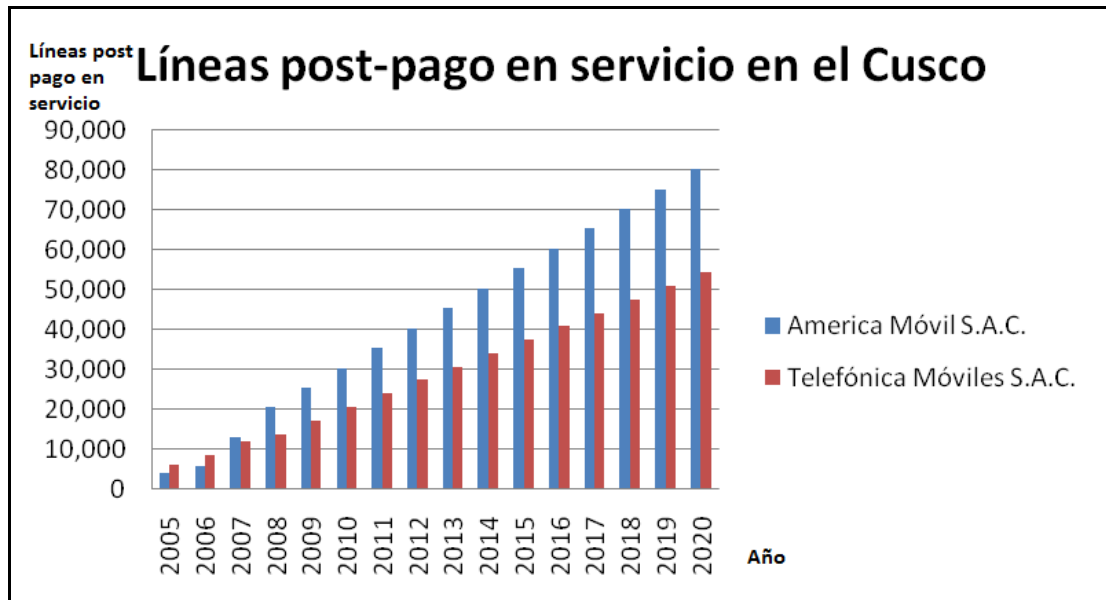


FIGURA 2-8: PROYECCIÓN DE LÍNEAS POST-PAGO EN SERVICIO EN EL CUSCO [30]

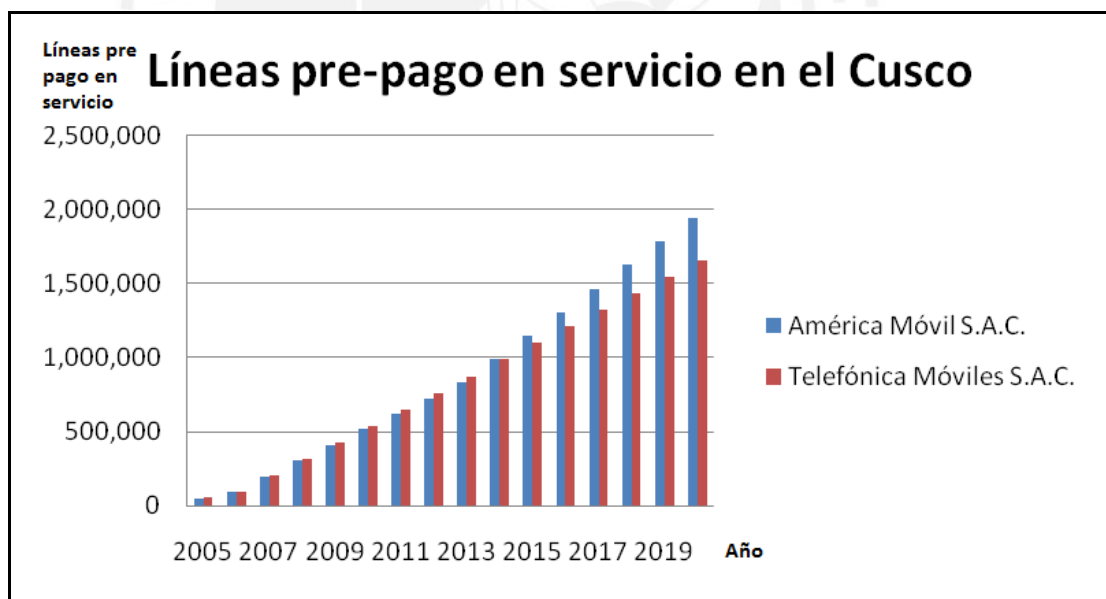


FIGURA 2-9: PROYECCIÓN DE LÍNEAS PRE-PAGO EN SERVICIO EN EL CUSCO [30]

### 2.3.3 Consumidor y demandas del mercado

#### i. Evaluación del cliente

El perfil del cliente es muy variable, podemos encontrar desde aquellos que quieren adquirir un nuevo equipo que cuente con diversas aplicaciones hasta aquellos que quieren navegar en la red y hacer descargas a gran velocidad usando un dispositivo móvil. Todos ellos tienen en común querer un dispositivo móvil capaz de soportar varias y novedosas aplicaciones, pero esto no se puede aprovechar en su totalidad si no se cuenta con un ancho de banda adecuado.

La mayoría de los clientes del Cusco se encuentran en las provincias del Cusco y Urubamba, entre los 14 y 39 años de edad. Pero también se tiene clientes potenciales en los turistas, tanto extranjeros como de otros departamentos, así también como en las empresas grandes. En el caso de los extranjeros, la mayoría de ellos están acostumbrados a convivir con redes 3G, con una gama de equipos sofisticados y con una mayor experiencia en cuanto a las aplicaciones.

Para el caso específico de este proyecto se ha identificado tipos de perfiles del cliente que son los siguientes:

- Cliente Turista: Aquel cliente que, en la mayoría de los casos, vienen de países en donde el desarrollo en telefonía móvil es mejor, tanto en tecnología como en experiencia. Además, las actividades que realiza se complementan con los servicios y la velocidad que una red LTE hace posible como video llamadas, subir fotos y videos a gran velocidad, entre otras más.
- Cliente Empresarial: Aquel cliente que pertenece a una empresa transnacional y que necesita de altas velocidades para comunicarse de manera más eficiente con sus pares en otros países.
- Cliente Estándar: Aquel cliente denominado así ya que es el perfil de cliente que quiere renovar su equipo móvil, disfrutar de una nueva experiencia en cuanto a velocidad, tomar fotos, grabar videos y compartirlos casi en tiempo real. En otras palabras, el cliente que cuenta con los medios suficientes para adquirir el servicio y que no es turista ni empresario.

## ii. Demanda del mercado

Como ya se menciona, las dos empresas de telefonía móvil que compiten directamente por el liderazgo en el mercado son Movistar y Claro, siendo esta última la que está a la cabeza ligeramente. Con respecto a las líneas en servicio, cada año se siguen incrementando considerablemente en un 40% y son las líneas pre-pago las más adquiridas, como lo es también a nivel nacional.

En cuanto al acceso a Internet, en la Tabla 2.6 se tienen los lugares de conexión a Internet por sector y en la Tabla 2.7 se tiene el número de usuarios que hay por cada 100 habitantes. De ambas tablas se puede concluir que todos tienen acceso a Internet, pero que los que pueden aprovechar realmente el servicio son un grupo reducido [31].

**TABLA 2-6: LUGARES DE CONEXIÓN A INTERNET EN EL CUSCO [31]**

Lugar de conexión a Internet	NSE A	NSE B	NSE C	NSE D y E
Cabina Pública	2%	16%	48%	44%
Centro de Estudios	15%	24%	36%	25%
Casa	60%	28%	1%	0%
Otros	33%	32%	15%	0%

**TABLA 2-7: ACCESO AL SERVICIO DE INTERNET [31]**

Disponibilidad de internet	
Número de suscriptores de Internet por cada 100 habitantes	3.2
Número de usuarios de Internet por cada 100 habitantes	77.8

### 2.3.4 Competencia y oferta del mercado

La competencia en telefonía móvil se da básicamente entre Claro y Movistar, y Nextel poco a poco está ingresando al Cusco. En la Tabla 2.8 se tiene el número de estaciones base por empresa, siendo América Móvil (Claro) la empresa con mayor número de estaciones lo que confirma su buen posicionamiento en el Cusco [32].

**TABLA 2-8: ESTACIONES BASE POR EMPRESA AL TERCER TRIMESTRE DEL 2009 [32]**

Ámbito regional	Telefónica Móviles S.A	América Móvil Perú S.A.C	Nextel del Perú S.A	Total
Cusco	51	82	8	141

En la Tabla 2.9 se ve que la cobertura de Claro abarca todas las provincias del Cusco y aunque parezca que Telefónica Móviles también tiene buena cobertura, no cubre todos los distritos de las provincias señaladas [30].

**TABLA 2-9: COBERTURA DE CUSCO POR OPERADOR [30]**

Provincias	Telefónica Móviles	América Móvil	Nextel
Cusco	X	X	X
Acomayo	X	X	
Anta	X	X	X
Calca	X	X	X
Canas	X	X	
Canchis	X	X	
Chumbivilcas		X	
Espinar	X	X	
La Convencion	X	X	
Paruro	X	X	
Paucartambo	X	X	
Quispicanchi	X	X	X
Urubamba	X	X	X

Todo lo expuesto es con respecto al mercado de telefonía móvil, pero otro mercado importante y potencial es el del mercado de banda ancha tanto móvil como fija. Está Telefónica del Perú que utiliza ADSL a través de su línea telefónica convencional, Movistar con su Internet móvil y con cobertura en Cusco, San Jerónimo, San Sebastián, Santiago, Wanchaq y Urubamba, Claro con su Internet móvil con cobertura 3G solo en las provincias de Cusco y Urubamba, Nextel con su Internet móvil con cobertura alrededor de Chilca, Limatambo y Curahuasi, y Gilat to Home Perú que brinda un servicio satelital tanto de voz como de datos a sitios del cusco de difícil acceso.

### 2.3.5 Mercado potencial

Parte del diseño de la red es importante definir bien las áreas de cobertura en donde se ofrecerán los servicios de esta nueva red. Basándonos en los datos y en la información social y económica, así como en la situación del mercado y en su proyección, hemos visto que las provincias con mayor población son Cusco, Urubamba, Acomayo y Anta. Otro punto es que la mayoría de los hoteles se encuentran repartidos entre Cusco y Urubamba, y es en estas localidades en donde se concentra la mayor cantidad de turistas extranjeros. Además la mayor cantidad de estaciones base de las empresas de telefonía móvil, Claro y MoviStar, se

encuentran entre el Cusco y Urubamba. Es decir, el análisis hecho sobre la información socio-económica coincide con la situación actual de la ubicación y cobertura de las estaciones base.

Por todo lo visto en este capítulo, las zonas que han sido consideradas como mercado potencial son las provincias de Cusco y Urubamba, empezando por los distritos de Cusco, Urubamba y Machupicchu, distritos en donde están ubicados los cuatro hoteles de cinco estrella y donde hay un mayor movimiento de turistas. En el siguiente capítulo se verá con mayor detalle las zonas de cobertura.



## **Capítulo 3**

### **Ingeniería de red**

#### **3.1 Introducción**







En este capítulo se verá básicamente todo el cálculo y las consideraciones que involucra diseñar una red de acceso en la zona geográfica elegida anteriormente, pero también veremos qué es lo que se tiene que hacer con el núcleo de la red, así como con la red de transporte. Este capítulo se centrará en el acceso, sin dejar de lado las otras redes ni las consideraciones en cuanto a infraestructura.

#### **3.2 Núcleo de la red LTE**

##### **3.2.1 Relación de principales proveedores de equipos del EPC de LTE**

Los componentes del EPC se pueden apreciar en la Figura 1.3 y constan básicamente del S-GW, P-GW y el MME. La tendencia indica que para los S-GW y P-GW se usan routers de borde y para el MME se usan plataformas ATCA (Advanced Telecommunications Computing Architecture), pero eso ya depende de cada proveedor. En la Tabla 1.3 se muestra una lista de los proveedores de equipos EPC LTE más importantes en el mercado mundial.

**TABLA 3-1: DATOS Y CARACTERÍSTICAS DE PROVEEDORES DE EQUIPOS EPC LTE**  
[33]

Proveedores	Datos y características	
	Empresas	Solución
	Huawei forma parte del equipo seleccionado por TeliaSonera para el despliegue de su red LTE solo en Oslo.	El USN (Unified Service Node) que conforma el MME y PCRF, y el UGW (Unified Gateway) que conforman el S-GW y P-GW.
	Verizon wireless y AT&T seleccionaron a Ericsson como proveedor tanto del EPC como del acceso. TeliaSonera ya tiene desplegada una red LTE usando equipos de Ericsson, su principal proveedor.	Se basa en los routers de borde Redback con hardware para los gateways (S-GW y P-GW) y módulos de servidores y software para los demás componentes.
	Verizon wireless y AT&T seleccionaron a Alcatel-Lucent como proveedor tanto del EPC como del acceso. Telefónica está realizando pruebas con sus equipos en toda Latinoamérica, incluyendo el Perú.	Emplea el router de borde 7750 que engloba a los gateways y donde una plataforma ATCA (por ejemplo la 5780 DSC) albergará al MME y PCRF.
	Un dato no menor es que Starent fue comprada por Cisco para entrar al mercado 4G. También fue seleccionada por Verizon Wireless como vendedor del paquete central.	Usa una plataforma ST40 actualizada que integra todas las aplicaciones del núcleo. Es decir, actualiza sus actuales componentes EPC vía software.
	NEC es el principal proveedor de NTT DoCoMo en el núcleo de la red LTE, junto con Nokia Siemens Networks y el apoyo de Fujitsu.	NEC usa un dispositivo compacto que integra todo en un: AI MME, S-GW y P-GW, y se basa en módulos ATCA.
	Nokia Siemens Networks es proveedor de NTT DoCoMo. Un dato importante, es que Nokia Siemens Networks desplazo a Huawei como proveedor de TeliaSonera para la red de acceso.	Nokia Siemens Network usa lo que se conoce como Flexi Network Server que engloba las funciones del MME y el Flexi Network Gateway que agrupa a los gateways. Todo esto haciendo uso de las plataformas ATCA.

Algunos ofrecen una solución completa desde la troncal IP hasta la estación celular, como es el caso de Alcatel Lucent, otros como Starent ofrecen una solución basada en actualizaciones de software. En conclusión, la elección por parte de una operadora móvil sobre los equipos para el EPC de LTE se basa, en algunos casos, en trabajar con los mismos proveedores con los que han venido desarrollando sus

redes 3G, en elegir la mejor solución en cuanto rendimiento, eficiencia y costos, no solo costos en cuantos a los equipos en sí, sino al mantenimiento de los mismos y a las actualizaciones del software.

### 3.2.2 Diseño del EPC de LTE en el Perú

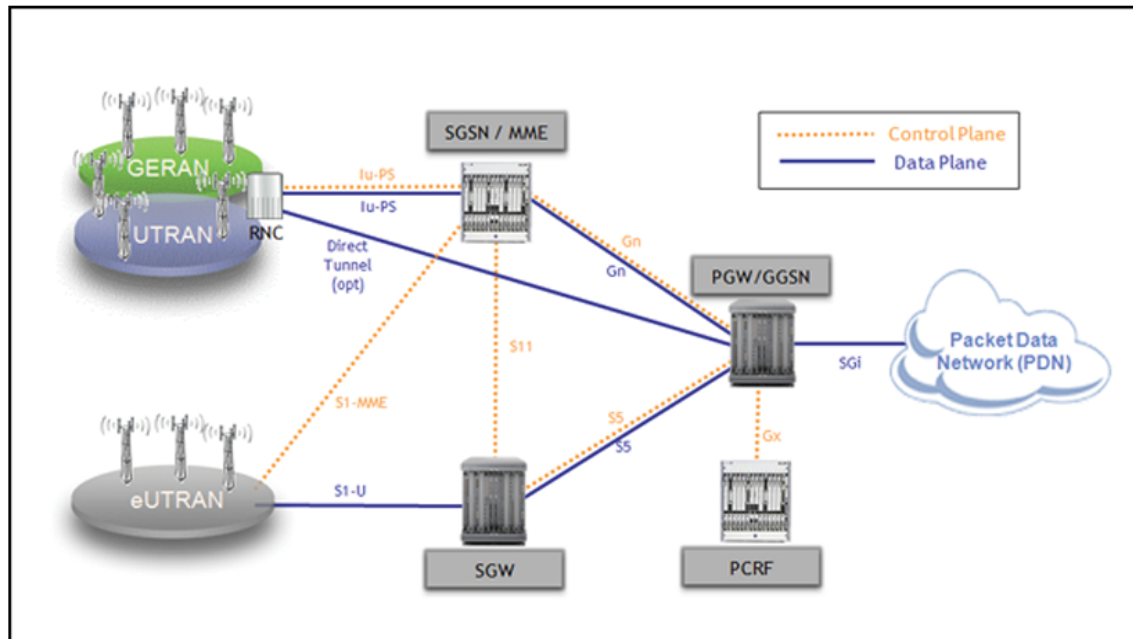
Actualmente, el núcleo de las redes actuales de las operadoras móviles se encuentra en Lima, y no será la excepción con una red LTE. Movistar ya se encuentra haciendo pruebas con equipos de Alcatel Lucent y vamos a basarnos en su solución para hacer una descripción concreta de lo que se tendrá en el núcleo. Por otro lado, la competencia no está que realiza actualmente pruebas en el Perú de LTE. La solución depende de cada operador, y en esta parte del capítulo presentaremos y desarrollaremos la solución que plantea Alcatel-Lucent en cuanto a arquitectura y equipos.

#### i. Topología de la red EPC

En el Perú existen redes 2G y 3G con diversas tecnologías, por lo que las operadoras se preocuparán por tener una evolución suave hacia LTE. Las operadoras muy difícilmente se arriesgarían a migrar toda su red a LTE; por el contrario, trabajarían con una red superpuesta por separado. De esa forma no afectaría la red de datos de las actuales redes, los usuarios no se verán afectados y se podrán beneficiar de la nueva red LTE. Hay entonces tres maneras de que LTE co-exista con redes 2G y 3G [35]:

- Mantener las 3 redes (2G, 3G y 4G) separadas y dejar que los UE multi-modo decidan cuando cambiar de una red existente a LTE y viceversa.
- Interoperabilidad de LTE con redes WCDMA Release 8.
- Interoperabilidad de LTE con redes WCDMA pre-Release 8.

En la Figura 3.1, se puede ver desde una perspectiva amplia como es que interactuarían los núcleos de las redes actuales con una red LTE. Se puede ver que desde el RNC de las redes UTRAN y GERAN hay un enlace o túnel directo opcional, que como se puede apreciar, permite una conexión directa entre en RNC y el GGSN sin que la carga útil tenga que pasar por el SGSN, de esa forma se evita la congestión y se mejora el desempeño de la red [36].



**FIGURA 3-1: ARQUITECTURA DEL NÚCLEO DE RED ACTUAL Y DEL EPC [36]**

Por lo dicho anteriormente, las operadoras tendrían que ver que método sería el mejor para sus redes actuales de tal manera que puedan convivir con redes LTE. Para que las operadoras no se tengan que preocupar por todo esto, Alcatel-Lucent ofrece su solución de punto a punto desde el radio acceso, pasando por el backhaul, el EPC, el backbone de transporte hasta el entorno de entrega de servicios, y soporta interoperabilidad de LTE con redes pre-Release 8 y Release 8 [35].

## ii. Descripción de equipos EPC LTE

Como se menciona en un principio, son dos equipos los que se utilizan en una red EPC LTE, una plataforma ATCA y los routers de borde. Alcatel-Lucent introduce su plataforma ATCA 5780 DSC (Dynamic Services Controller) y los routers de borde multiservicio 7750 SR. A continuación se describen cada uno de ellos:

### **5780 DSC – Plataforma ATCA**

La plataforma ATCA 5780 DSC es una solución integral que abarca el housing, switching, computación y almacenamiento. Es compatible con los estándares de ATCA PICMG 3.0 y 3.1. Además soporta procesadores SMP de 64 bits.

Esta plataforma provee las funciones del PCRF gracias a un software de policy management. Así también provee funciones del MME gracias a un software de

mobility management como el 9471 MME, y también es usado como un gestor de la data del suscriptor como el 8650 SDM [37].



**FIGURA 3-2: 5780 DSC – PLATAFORMA ATCA [37]**

### **Router de borde multiservicio 7750 SR**

Este router ha sido probado en campo con una disponibilidad del 99.999+% con ninguna pausa en sus servicios, posee capacidades de ruteo completas de IPv4/IPv6 para vincularse directamente con la agregación IP y el backbone. Además tiene servicios L2 y L3 integrados y virtualizados para manejar los retardos de la red móvil [37].



**FIGURA 3-3: FAMILIA DE ROUTERS DE BORDE MULTISERVICIO 7750 SR [37]**

Si a este router le agregamos un gateway móvil basado en un modulo de servicio integrado, se obtiene tanto el S-GW como el P-GW. Este router con el S-GW o el P-GW integrados permite H-QoS, procesamiento integrado de paquetes avanzados y funciones de seguridad IPsec [37].



FIGURA 3-4: MÓDULO DE SERVICIOS INTEGRADO JUNTO CON EL 7750 SR [37]

### 3.3 Red de acceso LTE

#### 3.3.1 Espectro a usar

Antes de hablar del espectro a elegir en el Perú para desplegar los servicios de LTE, veamos lo que sucede en el mundo. En Estados Unidos se hizo la subasta de la banda de 700 MHz realizada por la Comisión Federal de Comunicaciones FCC (Federal Communications Commission) en donde el ganador fue Verizon Wireless. En Europa se usará la banda de 2.6 GHz y operadoras como TeliaSonera ya ganaron las licencias de esa banda.

En el Perú, la situación del espectro en el Perú es complicada debido a la gran cantidad de operadoras y emisoras que ocupan las bandas importantes para desplegar LTE y al spectrum cap de 60 MHz actualmente permitidos.

En el caso de la banda de 700MHz, actualmente está ocupada por cuatro emisoras de televisión, pero según un decreto supremo publicado el 30 de marzo del 2010 en el diario El Peruano, la banda de 700MHz (698 - 806 MHz) se encuentra reservada para la telefonía móvil por lo que los titulares de asignaciones de la banda de 700 MHz migrarán a las bandas de 470 – 608 MHz y 614 – 698 MHz. De esa forma, los titulares dejarían libre la banda de 700 MHz para una futura implementación de LTE [38].

Por otro lado está la banda de 2.6 GHz (2500 – 2570MHz y 2620 - 2690) que actualmente está ocupada por operadoras como Nextel, Telecable siglo 21, Yota del Perú, Cable Visión y Corp Perú. La gran cantidad de estas operadoras hacen imposible el uso de esta banda.

La otra posibilidad está en la banda AWS (Advanced Wireless Services) 1700/2100 MHz y esta banda actualmente está reservada por el estado.

En el desarrollo del proyecto se usará la banda de 700 MHz ya que es la más probable de usar. Además, al ser una baja frecuencia, permitirá llegar a más usuarios con menos infraestructura, y por ende, menos costos.

### 3.3.2 Modelos de propagación

#### i. Modelo Cost-231

Este modelo de propagación se puede aplicar en entornos de celdas grandes y pequeñas, en donde la antena de la estación base está ubicada por encima de los tejados de edificios, y en entornos de microceldas, en donde la antena de la estación base está ubicada por debajo de los tejados de edificios. En el entorno de las celdas grandes y pequeñas, las pérdidas de propagación están determinadas por la difracción y dispersión en los tejados de los edificios cercanos al móvil, y en el caso de las microceldas están determinadas por la difracción y dispersión alrededor de los edificios, y los rayos principales se propagan en las calles como en una guía de ondas.

El modelo es aceptable cuando  $h_B$  (altura de la base) es mayor a  $h_R$  (altura del tejado), pero cuando es mucho menor, el error de predicción es mayor ya que aparecen modos de propagación no considerados como el efecto de guía de ondas por las calles y la difracción en las esquinas. Cuando el  $h_B$  es menor que el  $h_R$  también hay que tener cuidado ya que no se tienen las mediciones suficientes para validarlo.

Se tiene la atenuación que está definida por:

$$L_b = L_o + L_{rst} + L_{msd} \quad (3.1)$$

Donde:

- $L_o$ : Pérdida en espacio libre.
- $L_{rst}$ : Pérdidas por difracción y dispersión del techo a la calle.
- $L_{msd}$ : Pérdida por difracción multipantalla.

$L_o$  está definido como:

$$L_o = 32.46 + 20 \text{ Log } (f) + 20 \text{ Log } (d) \quad (3.2)$$

Donde:

- $f$ : Frecuencia en MHz.
- $d$ : Distancia entre 1 a 20 Km.

$L_{rst}$  está definido como:

$$L_{rst} = -16.9 - 10 \text{ Log } (W) + \text{ Log } (f) + 20 \text{ Log } (\Delta h_R) + L_{ori} \quad (3.3)$$

Donde:

- $W$ : Ancho de la calle que se puede considerar como la mitad de la distancia de separación entre edificios ( $b/2$ ) o también se podría considerar  $b$  como una distancia entre 20m y 50m.
- Si  $L_{rst}$  es menor a cero, se considera  $L_{rst} = 0$ .
- $\Delta h_R = h_R - h_M$ , donde  $h_R$  es la altura de los edificios y está definido como  $3m \times N^\circ$  de pisos, y  $h_M$  es la altura de la estación móvil (se asume el valor de 1.5m).
- $L_{ori} =$ 

$-10 + 0.357\phi$	$0 \leq \phi < 35^\circ$	(3.4)
$2.5 + 0.075 (\phi - 35)$	$35 \leq \phi < 55^\circ$	
$4 - 0.114 (\phi - 55)$	$55 \leq \phi < 90^\circ$	

Siendo  $\phi$  el ángulo definido entre el rayo directo y el eje de la calle.

$L_{msd}$  está definido como:

$$L_{msd} = L_{bsh} + K_a + K_d \text{ Log } (d) + K_f \text{ Log } (f) - 9 \text{ Log } (b) \quad (3.5)$$

Donde:

- $L_{bsh} = 18 \text{ Log } (1 + \Delta h_B)$  donde  $\Delta h_B = h_B - h_R$ .

- Si  $\Delta h_B < 0$ , entonces  $L_{bsh} = 0$ .
- $K_a$  representa el incremento de pérdidas de propagación en el caso en el que las antenas de las estaciones base se encuentren por debajo de los edificios cercanos y es igual a:

$$\begin{array}{ll} 54 & \Delta h_B \geq 0 \\ 54 - 0.8 \Delta h_B & \Delta h_B < 0 \text{ y } d \geq 0.5 \\ 54 - 1.6 \Delta h_{B,d} & \Delta h_B < 0 \text{ y } d < 0.5 \end{array} \quad (3.6)$$

- $K_d$  y  $K_f$  ajustan la dependencia de la difracción en función de la distancia y la frecuencia.

$$\begin{array}{ll} K_d = 18 & \Delta h_B \geq 0 \\ 18 - 15 \Delta h_B / \Delta h_R & \Delta h_B < 0 \end{array} \quad (3.7)$$

$K_f = -4 + 0.7 \{(f/925) - 1\}$ , para ciudades medianas y centros suburbanos.

$K_f = -4 + 1.5 \{(f/925) - 1\}$ , para ciudades metropolitanas.

## ii. Modelo Okumura-Hata

Este modelo de propagación está basado en una serie de medidas hechas en Japón y de donde se obtuvieron curvas de la intensidad de campo para un medio urbano y diferentes alturas efectivas de las antenas para bajas frecuencias (menores a 900 MHz) y una potencia radiada de 1 Kw. La altura de la antena de recepción considerada es de 1.5 metros [39].

Se tiene la pérdida de propagación que está definida por:

$$L_b = 69.55 + 26.26 \text{ Log } (f) - 13.82 \text{ Log } (h_t) - C_H + (44.9 - 6.55 \text{ Log } (h_t)) \text{ Log } (d) \quad (3.8)$$

Donde:

- $L_b$ : Pérdida básica de propagación.
- $h_t$ : Altura efectiva de la antena transmisora.
- $d$ : Distancia (1 a 20) km.

- $C_H$ : Corrección por altura.
- $f$ : Frecuencia en MHz (150 a 1500) MHz.

Para ciudades pequeñas o medianas,  $C_H$  está definido como:

$$C_H = 0.8 + (1.1 \text{ Log } (f) - 0.7) h_M - 1.56 \text{ Log } (f) \quad (3.9)$$

Para ciudades grandes,  $C_H$  está definido como:

$$C_H = 8.29 (\text{Log } (1.54 h_M))^2 - 1.1, \text{ si } 150 \leq f \leq 200 \quad (3.10)$$

$$3.2 (\text{Log } (11.75 h_M))^2 - 4.97, \text{ si } 200 \leq f \leq 1500 \quad (3.11)$$

### 3.3.3 Cálculo de coberturas

Los cálculos de cobertura están vinculados directamente a los cálculos de link budget que nos permite estimar la máxima atenuación de señal permitida entre el móvil y la estación base. Este valor de máxima pérdida permitida nos permite calcular el rango o distancia de cobertura de una celda usando un modelo de propagación adecuado.

Para el caso de LTE, se tomará como base el link budget del uplink. Estos valores se presentan en la Tabla 3.2 [40].

**TABLA 3-2: LINK BUDGET DEL UPLINK [40]**

Parámetros	Valor	Unidad
<b>Receptor – UE</b>		
Potencia máxima de transmisión	23.0	dBm
Ganancia de antena transmisora	0.0	dB
Pérdida del cuerpo	0.0	dB
EIRP	23	dBm
<b>Transmisor – eNodeB</b>		
Figura de ruido eNodeB	2.0	dB
Ruido Térmico	-118.4	dB
Ruido del receptor	-116.4	dBm
SINR	-7.0	dB
Sensitividad del receptor	-123.4	dB
Margen de interferencia	1.0	dB

Pérdida por cable	0.0	dB
Ganancia de antena receptora	18.0	dB
Margen de rápido desvanecimiento	0.0	dB
Ganancia de soft handover	0.0	dB
<b>Máxima pérdida permitida</b>	<b>163.4</b>	<b>dBm</b>

Luego, usando el modelo Cost-231 obtenemos los valores que definirán una expresión que reúna a la máxima pérdida permitida con la distancia. De esa forma, con el valor obtenido en el link budget, se obtiene el valor teórico para la distancia de cobertura.

A continuación se presentan los valores que serán empleados en el modelo de propagación:

- $h_R = 30\text{m}$
- $h_M = 1.5\text{m}$
- $h_B = 40\text{m}$
- $b = 30\text{m}$
- $f = 700\text{MHz}$
- $W = b/2$
- $K_a = 54$
- $K_d = 18$
- $K_f = -4.17$
- $L_{bsh} = -18.74$
- $L_{ori} = 3.25$  con ángulo de 45.

Partiendo del enunciado (3.1), se procede a hallar los valores de las pérdidas en función de la distancia, que es la que se determinará finalmente con el valor de la máxima pérdida permitida del link budget.

$$L_b = L_o + L_{rst} + L_{msd}$$

De la fórmula (3.2) y reemplazando los valores correspondientes se halla la pérdida en espacio libre en función de la distancia:

$$L_o = 32.46 + 20 \text{ Log } (f) + 20 \text{ Log } (d)$$

$$L_o = 89.3 + 20 \text{ Log } (d)$$

De la fórmula (3.3) y reemplazando los valores correspondientes se halla las pérdidas por difracción y dispersión del techo a la calle en función de la distancia:

$$L_{rst} = -16.9 - 10 \text{ Log } (W) + \text{ Log } (f) + 20 \text{ Log } (\Delta h_R) + L_{ori}$$

$$L_{rst} = -16.9 - 11.76 + 2.84 + 29.09 + 5.875 = 9.14$$

De la fórmula (3.4) y reemplazando los valores correspondientes se halla las pérdidas por difracción multipantalla en función de la distancia:

$$L_{msd} = L_{bsh} + K_a + K_d \text{ Log } (d) + K_f \text{ Log } (f) - 9 \text{ Log } (b)$$

$$L_{msd} = -18.74 + 54 + 18 \text{ Log } (d) + -4.17 \text{ Log } (700) - 9 \text{ Log } (30)$$

$$L_{msd} = 10.10 + 18 \text{ Log } (d)$$

Al sumar las tres expresiones en función de la distancia antes obtenidas y reemplazando la máxima pérdida permitida, se puede obtener la distancia de cobertura.

$$L_b = 108.54 + 38 \text{ Log } (d)$$

$$163.64 = 108.54 + 38 \text{ Log } (d)$$

$$d = 28.18 \text{ km}$$

Usando los mismos valores iniciales, utilizamos el modelo de Okumura-Hata partiendo del enunciado (3.8).

$$69.55 + 26.26 \text{ Log } (700) - 13.82 \text{ Log } (40) - C_h + (44.9 - 6.55 \text{ Log } (40)) \text{ Log } (d)$$

Se elige la fórmula (3.9) ya que se quiere halla la corrección de alturas para ciudades medianas.

$$C_H = 0.8 + (1.1 \text{ Log } (700) - 0.7) 1.5 - 1.56 \text{ Log } (700) = -0.14$$

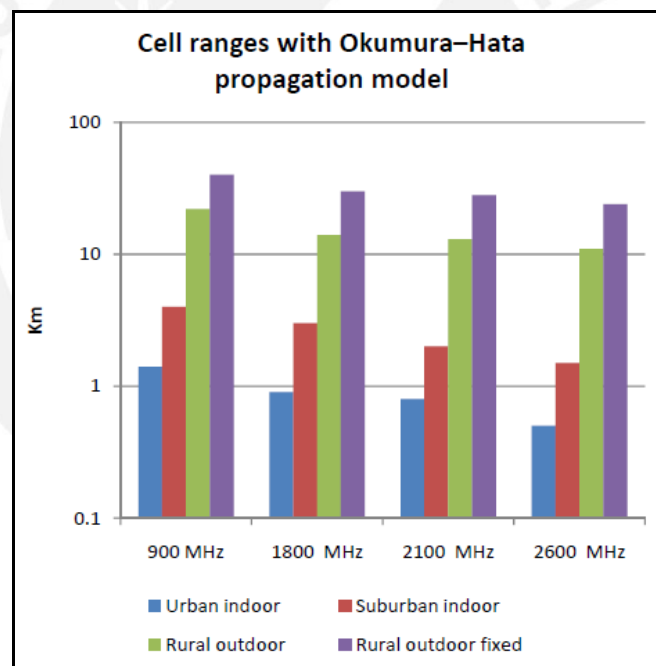
Y reemplazando en (3.8) se obtiene la distancia de cobertura.

$$69.55 + 26.26 \text{ Log } (700) - 13.82 \text{ Log } (40) + 0.14 + (44.9 - 6.55 \text{ Log } (40)) \text{ Log } (d)$$

$$122.26 + 34.4 \log d = 163.64$$

$$d=15.95 \text{ km}$$

Si comparamos las distancias obtenidas con los dos modelos de propagación, vemos que la distancia obtenida con Okumura-Hata es menor; es decir, el peor caso. Por ello, se usara el valor de 15.95 km. En la Figura 3.5 se puede ver las distancias teóricas que se pueden alcanzar con este modelo. Si se toma en cuenta que la banda en la que se va a trabajar es de 700 MHz y que Cusco y Urubamba son ciudades medianas consideradas entre rurales y sub-urbanas, el valor de 15.95 km es un valor coherente.



**FIGURA 3-5: COBERTURA DE CELDAS CON EL MODELO DE OKUMURA-HATA [41]**

Tanto en WCDMA como en HSDPA existe lo que se conoce como contracción de celda o el efecto breathing. Debido a que todas las señales comparten la misma portadora, un incremento en el número de suscriptores en la red hace que la interferencia aumente, y esto conduce a que un rango más corto brinde la misma velocidad, resultando esto en una disminución en el radio de la celda.

Pero en LTE no ocurre esta contracción de celda debido al uso de 64QAM y MIMO. Además el uso de OFDM hace que se le asigne una sub-portadora a cada suscriptor, por lo que no se ve afectado por el incremento de suscriptores en una celda.

Por lo señalado previamente, el valor teórico obtenido de la distancia máxima de cobertura no se verá afectado por el breathing; sin embargo, esta distancia si se verá afectada por diversos factores de atenuación en el medio. Además, a cierta distancia las velocidades que se pueden alcanzar no son las mismas y justamente lo que se quiere es ofrecer un servicio adecuado para el cliente, tal y como se puede apreciar en la Figura 3.6 [42].

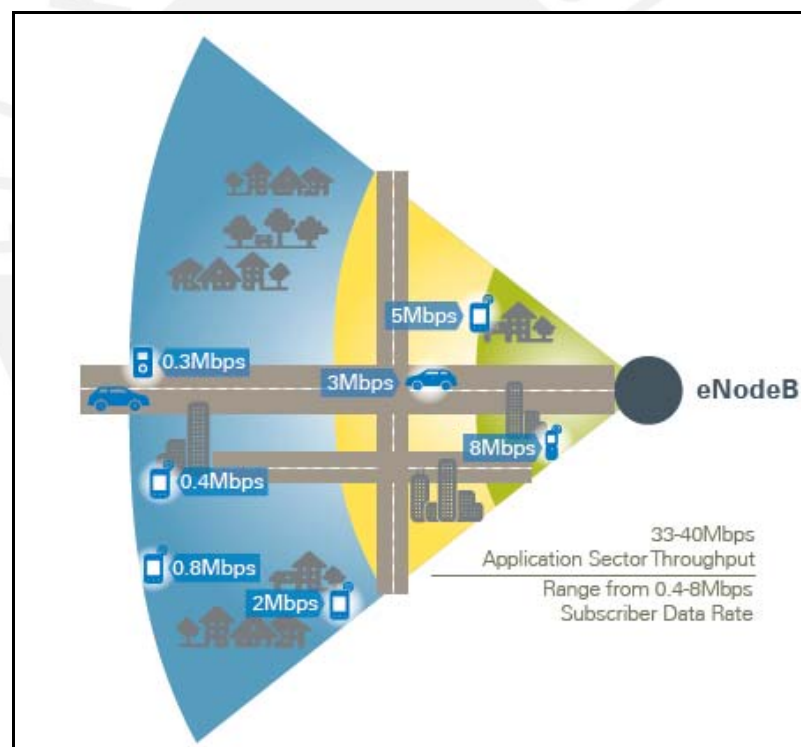


FIGURA 3-6 RENDIMIENTO POR SECTOR DE UNA ESTACIÓN BASE [42]

Lo que no se quiere es brindarle al usuario una velocidad por debajo del promedio de lo que puede ofrecer LTE, por lo que para el diseño de la red solo se considerará el 30% de la distancia obtenida con Okumura-Hata [43].

$$d = 5.31 \text{ km}$$

### 3.3.4 Zonas de cobertura

Las zonas de cobertura que se han elegido en el Cusco para el inicio del despliegue de la red, son zonas con alta concentración de turistas, pero enfocadas a los turistas provenientes de países en donde están a un paso más adelante en cuanto a servicios y aplicaciones móviles se refiere. Y se tomo como referencia a los 4 hoteles más importantes del Cusco en cuanto capacidad y ubicación estratégica.

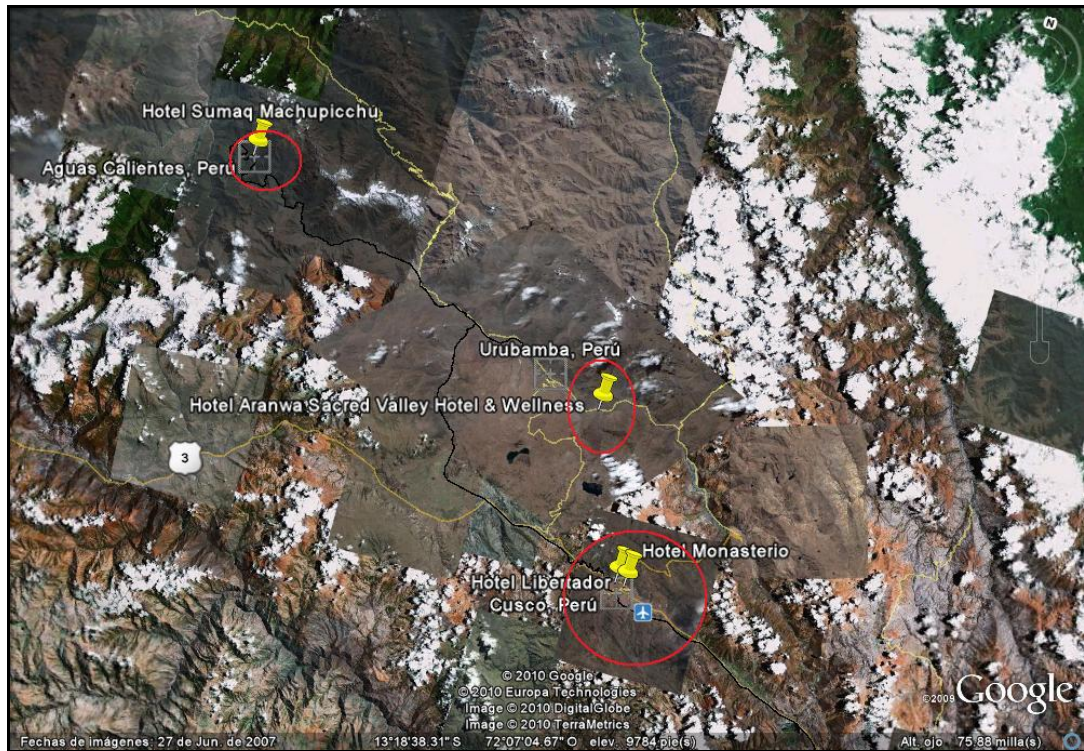


FIGURA 3-7: UBICACIÓN DE HOTELES CINCO ESTRELLAS

Una zona es la ubicada en la ciudad del Cusco, en donde están dos de los hoteles cinco estrellas que son el Hotel Monasterio y el Hotel Libertador. Otra zona es la ubicada en Urubamba, en los alrededores del Hotel Aranwa Sacred Valley Hotel & Wellness. Y la última zona es la que está ubicada en Machupicchu, allí se encuentra el Hotel Sumaq Machupicchu.

### 3.3.5 Capacidad de los eNodeB

#### i. Determinación de planes

En base a la evaluación del cliente realizada en el segundo capítulo, se definieron tres perfiles de cliente: el turista, el empresarial y el estándar. Con estos perfiles, se han definido los siguientes planes teniendo en cuenta las velocidades que LTE nos permite alcanzar y las tarifas que los clientes pueden pagar.

TABLA 3-3: PLANES DISPONIBLES

Planes	Velocidad Máxima	Capacidad de Transmisión	Tarifa Mensual
<b>Ilimitado 20</b>	20 Mbps	10 GB	\$70
<b>Ilimitado 30</b>	30 Mbps	15 GB	\$85
<b>Ilimitado Premium</b>	40 Mbps	20 GB	\$100
<b>Business</b>	50 Mbps	25 GB	\$115

Una vez alcanzada la capacidad máxima de transmisión, la velocidad máxima de descarga se reducirá en un 20% (siempre garantizando el 10%).

ii. Determinación del mercado inicial y final

La red se dimensionará para soportar a los usuarios en la hora cargada y es necesario determinar el mercado inicial. Para esto se ha tomado una serie de consideraciones que se ven reflejadas en la Tabla 3.4:

- Actualmente la realización de un proyecto de una red LTE en el Perú es improbable ya que recién se ha empezado a desplegar cobertura 3G. A pesar de que ya se han realizado pruebas en Lima por intermedio de Telefónica y Alcatel-Lucent, la posibilidad de que se despliegue LTE será alta en unos 5 años. Se ha estimado ese tiempo basándose en el desarrollo de las actuales tecnologías que hay en el Perú, el grado de despliegue a nivel mundial de LTE y en opiniones de ingenieros involucrados en el tema.
- Es por eso que en condiciones normales se trabajaría con la población proyectada del Cusco al 2015, pero no se quiere sobredimensionar el proyecto. Por ello, se trabajará con la PEA activa de la población proyectada al 2010.
- Para la PEA activa se está considerando a la población joven (14-39 años) y a la que no está involucrada con el sector agrícola. De esa forma, se puede tener un mercado objetivo en cuanto al poder adquisitivo de los clientes.
- El motivo de la elección del departamento de Cusco fue justamente por el gran mercado turístico que existe. Debido a que Cusco alberga anualmente alrededor de más de 1 millón de turistas extranjeros, se eligió un valor de turistas que se podría considerar como PEA activa, y es el número de turistas aproximado que hay por día.

- Para el despliegue de LTE en el mundo, la tendencia es empezar por nichos de mercado y es lo que se ha aplicado para el caso del Cusco, empezar con los distritos que albergan los hoteles más importantes que son Cusco, Urubamba y Machupicchu.
- Se fijará un mercado inicial que será equivalente al 10% de la PEA activa joven (incluyendo a los turistas) y un mercado final que vendrá a ser justamente el valor de la PEA activa pero proyectada al 2015.

TABLA 3-4: MERCADO INICIAL Y MERCADO FINAL

Distritos	Poblacion (2007)	Poblacion proyectada (2010)	PEA activa (14-39)	Turistas	Mercado Inicial	Mercado Final
<b>Urubamba</b>						
Chincheró	9422	10253	1210		121	1253
Hayllabamba	4980	5419	639		64	662
<b>Machupicchu</b>	<b>5286</b>	<b>5752</b>	<b>711</b>	<b>2500</b>	<b>350</b>	<b>3203</b>
Maras	6258	6810	804		80	832
Ollantaytambo	9851	10720	1265		127	1310
<b>Urubamba</b>	<b>17787</b>	<b>19356</b>	<b>2320</b>	<b>1250</b>	<b>389</b>	<b>3615</b>
Yucay	3101	3375	398		40	412
<b>Cusco</b>						
Ccorca	2343	2550	301		30	312
<b>Cusco</b>	<b>108798</b>	<b>118394</b>	<b>14135</b>	<b>2500</b>	<b>1812</b>	<b>16966</b>
Poroy	4462	4856	573		57	593
San Jeronimo	31687	34482	4069		407	4213
San Sebastian	74712	81302	9594		959	9934
Santiago	83721	91105	10750		1075	11132
Saylla	2934	3193	377		38	390
Wanchaq	59134	64350	7593		759	7863

iii. Determinación del throughput total por fase en hora cargada

Son dos las fases que se han elegido: La primera que se concentra en el distrito del Cusco y la segunda que se concentra en la provincia de Urubamba, específicamente en los distritos de Machupicchu y Urubamba.

La distribución del mercado inicial en los distintos planes ofrecidos se ve en la Tabla 3.5 así como también la capacidad total por fase.

TABLA 3-5: CAPACIDAD TOTAL POR FASE

Fases	Distritos	Mercado Inicial	Plan 20	Plan 30	Premium	Business	Capacidad Total (Mbps) por fase
<b>Cusco</b>							
<b>Fase 1</b>	<b>Cusco</b>	1812	824	494	329	165	52710
<b>Urubamba</b>							
<b>Fase 2</b>	<b>Machupicchu</b>	350	159	95	64	32	21500
	<b>Urubamba</b>	389	177	106	71	35	

Pero como no todos los usuarios se conectan al mismo tiempo en hora cargada, lo que se hará es usar un factor de concentración adecuado. Para datos, los expertos sugieren un factor de concentración del 30% en dicha hora. En la Tabla 3.6 se puede apreciar la capacidad total por fase en la hora cargada.

TABLA 3-6: CAPACIDAD TOTAL POR FASE EN LA HORA CARGADA

Fases	Distritos	Plan 20	Plan 30	Premium	Business	Capacidad Total (Mbps) por fase
<b>Cusco</b>						
<b>Fase 1</b>	<b>Cusco</b>	248	149	99	50	15890
<b>Urubamba</b>						
<b>Fase 2</b>	<b>Machupicchu</b>	48	29	20	10	6600
	<b>Urubamba</b>	54	32	22	11	

#### iv. Determinación del número de estaciones base por fase

Para determinar el número de estaciones base, primero tenemos que elegir el eNodeB a usar y para este proyecto se usará el 9326 digital 2U NodeB de Alcatel-Lucent. Este equipo permite unas velocidades de 172.8 Mbps en el downlink y de 115Mbps en el uplink con una configuración de 2x2 MIMO, modulación 64QAM y un ancho de banda de 20 MHz.

Para el cálculo, sólo se analizará la velocidad del downlink que es la más determinante. En LTE, las velocidades pico dependen de la modulación, la codificación, la configuración de antenas y el ancho de espectro. En la Tabla 3.7 se puede ver que las velocidades alcanzadas por el equipo coinciden con las velocidades y las configuraciones descritas.

**TABLA 3-7: VELOCIDADES DOWNLINK LTE [43]**

Modulación y codificación	Uso de MIMO	1.4 MHz	3.0 MHz	5.0 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
QPSK 1/2	Single stream	0.9	2.2	3.6	7.2	10.8	14.4
16QAM 1/2	Single stream	1.7	4.3	7.2	14.4	21.6	28.8
16QAM 3/4	Single stream	2.6	6.5	10.8	21.6	32.4	43.2
64QAM 3/4	Single stream	3.9	9.7	16.2	32.4	48.6	64.8
64QAM 4/4	Single stream	5.2	13	21.6	43.2	64.8	86.4
64QAM 3/4	2x2 MIMO	7.8	19.4	32.4	64.8	97.2	129.6
64QAM 1/1	2x2 MIMO	10.4	25.9	43.2	86.4	129.6	172.8
64QAM 1/1	4x4 MIMO	20.7	51.8	86.4	172.8	259.2	345.6

En la Tabla 3.8 se puede ver la clase de terminales que se puede usar siendo las de clase 2, 3 y 4 las que se podrían usar con las configuraciones antes mencionadas. Todas las categorías aceptan 20 MHz, la modulación 64QAM es obligatorio en downlink, pero no en el uplink (excepto de clase 5) y 2x2 MIMO obligatorio en todas las clases (excepto de clase 1).

**TABLA 3-8: TERMINALES LTE [43]**

Parámetros	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Velocidades pico	10/5 Mbps	50/25 Mbps	100/50 Mbps	150/50 Mbps	300/75 Mbps
Ancho de banda RF	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz
Modulación downlink	64 QAM	64 QAM	64 QAM	64 QAM	64 QAM
Modulación uplink	16QAM	16QAM	16QAM	16QAM	64 QAM
Diversidad en Recepción	Si	Si	Si	Si	Si
Diversidad en Transmisión BTS	1-4 tx	1-4 tx	1-4 tx	1-4 tx	1-4 tx
MIMO downlink	Opcional	2x2	2x2	2x2	4x4

La tasa de bits por sector asciende a 172.8 Mbps en el downlink y debido a que se está considerando sitios de tres sectores, la capacidad por estación sería de 518.4 Mbps aproximadamente. Como se está considerando un factor de overbooking de 8 a 1, se garantiza el 12.5% de la capacidad ofrecida tal y como se puede ver en la Tabla 3.9.

**TABLA 3-9: THROUGHPUT POR ESTACIÓN SIN Y CON OVERBOOKING**

Canalización 15MHz		
Capacidad en DL sin overbooking (Mbps)	Capacidad en DL con overbooking (Mbps)	Capacidad
388.8	3110.4	

Se elige los valores de la capacidad con overbooking para la canalización de 20 MHz, ya que ese ancho de espectro es el que permite las más altas velocidades y no valdría la pena usar canalizaciones de menor ancho de espectro ya que esas velocidades se podrían alcanzar con otras tecnologías como HSPA+.

Finalmente, dividiendo el throughput total que hay por fase entre el throughput por estación, se obtiene el número de estaciones base tal y como se puede ver en la Tabla 3.10.

**TABLA 3-10: NÚMERO DE ESTACIONES BASE POR FASE**

Fases	Distritos	Capacidad (Mbps)	Capacidad total (Mbps) por fase	Número de eNodeBs
<b>Cusco</b>				
Fase 1	Cusco	15890	15890	3.8315
<b>Urubamba</b>				
Fase 2	Urubamba	3130	6600	1.5914
	Machupicchu	3470		

Para la primera fase que abarca todo el distrito de Cusco se tendrá que instalar cuatro estaciones base y para la segunda fase que abarca los distritos de Urubamba y Machupicchu se tendrá que instalar dos estaciones base.

### 3.3.6 Topología de la red de acceso

La ubicación de las estaciones base han elegidas tomando en cuenta las dificultades que hay para poner infraestructura de telecomunicaciones en un departamento turístico en su totalidad como lo es el Cusco. Es por ello que se han elegido lugares cercanos a las estaciones base que hay actualmente tanto en Cusco como en Urubamba. En la Tabla 3.11 se presenta la ubicación de los sites.

**TABLA 3-11: UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES BASE**

Estaciones Base	Localidad	Longitud	Latitud
<b>Cusco</b>			
eNodeB – 1	Cusco Centro	-71.9775	-13.51975
eNodeB – 2	San Blas	-71.97375	-13.51225
eNodeB – 3	Alto Cusco	-71.96719	-13.51872
eNodeB – 4	La Cantuta	-71.93308	-13.53056
<b>Urubamba</b>			
eNodeB – 5	Cruz de Urubamba	-72.11911	-13.28614
eNodeB – 6	Machupicchu	-72.52783	-13.15411

En la Figura 3.8 se visualiza la estación de La Cantuta que le dará cobertura a toda la zona del aeropuerto.



**FIGURA 3-8: UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN BASE DE LA CANTUTA**  
 Fuente: Google Earth

En la Figura 3.9 se visualizan las estaciones base que le darán cobertura a las zonas de los dos hoteles más importantes de Cusco que son el hotel Monasterio y el Libertador. Estas estaciones son Cusco Centro, San Blas y Alto Cusco.



**FIGURA 3-9: UBICACIÓN DE ESTACIONES BASE EN ZONA HOTELERA DEL CUSCO**  
Fuente: Google Earth

En la Figura 3.10 se tiene a la estación base Cruz de Urubamba que le dará cobertura al hotel Aranwa Sacred Valley Hotel & Wellness.



**FIGURA 3-10: UBICACIÓN DE ESTACIÓN BASE EN URUBAMBA**  
Fuente: Google Earth

En la Figura 3.11 se tiene a la estación base Machupicchu que le dará cobertura al hotel Sumaq Machupicchu.



**FIGURA 3-11: UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN BASE EN MACHUPICCHU**  
Fuente: Google Earth

En las Figuras 3.12 y 3.13 se ve la topología de la red de acceso total, las estaciones en color verde son las que se desplegarán en la primera fase y las de amarillo en la segunda.



**FIGURA 3-12: TOPOLOGÍA FINAL DE LA RED DE ACCESO**  
Fuente: Google Earth



**FIGURA 3-13: UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES BASE EN CUSCO**

Fuente: Google Earth

### 3.3.7 Descripción de equipos de acceso LTE

El eNodeB a usar para el despliegue de la red de acceso es el 9326 digital 2U NodeB de Alcatel-Lucent.

Entre los beneficios que ofrece este equipo tenemos:

- Una suave introducción de LTE en redes 3G existentes que permiten el reuso de frecuencias y de equipamiento de site existentes. En el caso de Perú, no existe estaciones base a las que se les pueda hacer una actualización vía software de LTE. Se tendrá que desplegar nuevas estaciones pero se podrán emplear también para ampliar la cobertura y capacidad 3G.
- Soporte del Self-Optimizing network (SON) minimiza la complejidad del despliegue de la red y la optimización.
- Es ultra compacto y de alta capacidad, soporte total de MIMO.

Y alguna de las especificaciones técnicas son las siguientes:

- Para transmisión posee 2 puertos Gigabit Ethernet.

- El throughput pico es de 172.8 Mbps en el downlink por sector (20MHz y 2x2 MIMO).
- El throughput pico es de 115 Mbps en el uplink por sector (20MHz y 2x2 MIMO).
- Soporta anchos de espectro de 1.4 MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz y 20 MHz.

En cuanto a los equipos terminales, no hay ninguno que se haya lanzado comercialmente pero diversas empresas han anunciado ya el lanzamiento de algunos dispositivos. Por ejemplo Samsung lanzo su LTE dongle GT-B3710 que está siendo usado para el primer despliegue comercial de TeliaSonera. Huawei también han anunciado su módem E398 que se presenta como el primer módem LTE multi-modo en el mundo ya que soporta los estándares LTE, UMTS y GSM, ZTE anunció el lanzamiento de sus módems AL600 y AL6220. Samsung también ha mostrado su netbook N150 que cuenta con un módulo de radio LTE y su teléfono móvil SCH-r900. Y así podemos mencionar diversos dispositivos y proveedores de estos equipos que se espera que estén disponibles a partir del 2011. En la Figura 3.14 se presenta algunas imágenes de estos dispositivos.



**FIGURA 3-14: HUAWEI E398 Y SAMSUNG GT-B3710 LTE DONGLES**

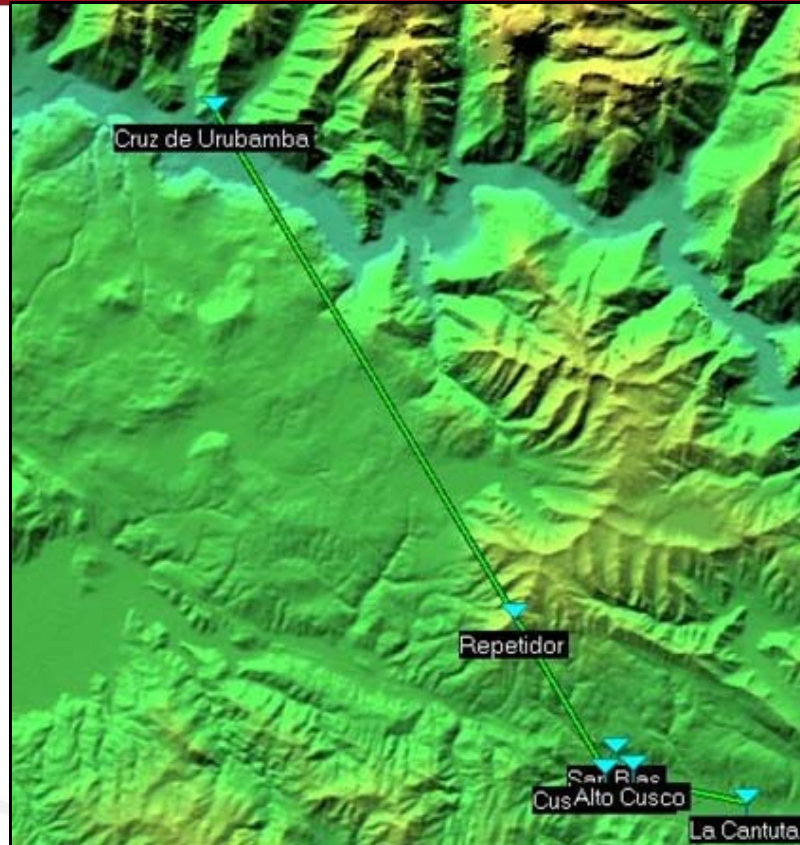
### 3.4 Red de transporte LTE

En cuanto a la red de transporte, LTE es una tecnología que requiere altas velocidades y una gran capacidad de transmisión por lo que necesita de fibra óptica y microondas. A continuación se hace una breve descripción de ellas:

- Fibra óptica: Se pueden constituir sistemas que superan los 10 Gbps y es la primera opción a usar si la fibra ya está tendida. Pero si se requiere de todo un proyecto de implementación de fibra, la empresa deberá de invertir un mayor monto para el despliegue. Para darnos una idea, el costo de fibra por cada 0,3 metros puede estar desde 10 dólares en zonas rurales hasta 100 dólares en zonas urbanas.
- Microondas: Las microondas que existen en la actualidad permiten ofrecer hasta 4 Gbps y algunos también permiten distribuir la sincronización para los eNodeBs. Se pueden establecer arquitecturas de tipo anillo y malla.

Lo ideal es que todo sea por fibra, pero lo que se ve hoy día es totalmente diferente. Lo que se podría usar en Cusco en un inicio es microondas para enlazar la estación base de Urubamba con la estación en Cusco Centro. A ésta última estarán enlazadas las demás estaciones base. Lo que si deberá estar con fibra óptica es la conexión entre Cusco Centro y el punto de interconexión con el tendido de fibra. El ministro de Transportes y Comunicaciones, Enrique Cornejo, anunció que la empresa Telefónica empezará a desplegar una red de fibra este año y ésta incluirá al Cusco [44].

En la Figura 3.15 se ven todos los enlaces de transporte satisfactorios y se ve que entre Cruz de Urubamba y Cusco Centro hay un repetidor que es necesario colocarlo ya que no hay una visión directa entre ambos puntos. Las líneas en color verde representan que todos los enlaces cuentan con una visibilidad mayor al 60% de la primera zona de Fresnel.



**FIGURA 3-15: ENLACES SATISFATORIOS EN LA RED DE TRANSPORTE**

Fuente: Radio Mobile



**FIGURA 3-16: ENLACES SATISFATORIOS EN LA PROVINCIA DE CUSCO**

Fuente: Radio Mobile

En la Figura 3.16 se puede visualizar mejor los enlaces entre las estaciones base de la provincia de Cusco.

En el caso de la estación base en Machupicchu, no aparece en ninguna de las gráficas y esto se debe a que no hay una visibilidad directa entre ésta y la estación base Cruz de Urubamba. Se tendría que emplear más de dos estaciones repetidoras en una zona en donde el paisaje podría verse afectado por lo que la viabilidad de desplegar infraestructura en ese lugar es casi imposible. Es por eso que las operadoras móviles brindan sus servicios en Machupicchu vía satélite. Una solución entonces para llevar LTE a Machupicchu es hacerlo vía satélite. En Estados Unidos por ejemplo, los operadores de comunicaciones satelitales están planeando ofrecer servicios duales tanto satelital como de comunicaciones móviles 4G que será soportado por smartphones duales [45]. Algo similar tendría que usarse en Machupicchu.

### **3.5 Infraestructura del proyecto**

La infraestructura que se empleará en este proyecto cuenta con los subsistemas de protección y subsistemas de energía que se emplean hoy en día en Cusco para redes 3G. En otras palabras, las estaciones base contarán con un adecuado sistema de puesta a tierra, un pararrayos tetrapuntual, banco de baterías de respaldo, algún rectificador por si fuese necesario, breakers, y la torre auto-soportada que podrá ser instalada o alquilada. En el siguiente capítulo, se detallarán los costos de los elementos involucrados en la infraestructura del proyecto.

## **Capítulo 4**

### **Análisis económico**

#### **4.1 Costos de Inversión**

Los costos de inversión considerados serán aquellos que solo competen a la red de acceso. Esto debido a que el presente proyecto de LTE en el Cusco asume que para el 2015 (año en el que se ha estimado que se empezará con el despliegue de esta tecnología en el Perú), ya habrá un core centralizado en Lima o en otros departamentos importantes si existiese un core distribuido. En el caso del transporte, también debería estar acabado el tendido de fibra óptica que cubrirá gran parte de Cusco.

Para los costos de inversión también se están considerando la primera y la segunda fase, ya que la expansión no demorará más de medio año. Esto debido a que se está siguiendo la tendencia que hay en otros países que ya están realizando pruebas como en Suecia, Estados Unidos y Japón. Lo que se hace es empezar a brindar los servicios a un grupo reducido de clientes en los mercados más importantes e ir poco a poco incrementando la capacidad. En el presente proyecto, Cusco es uno de esos mercados y los distritos para empezar a brindar los servicios son Cusco, Machupicchu y Urubamba.

Se empezará con 2551 clientes y en un año se captará a más de 21,000 clientes. Todo esto debido al gran movimiento turístico que hay en el departamento y a una fuerte campaña publicitaria.

Entre los costos de inversión están el costo de los equipos LTE así como los equipos del sistema radiante, la infraestructura, los terminales y los permisos municipales.

Todos los elementos y costos considerados se dan en un plano en el que una nueva operadora quiera desplegar este tipo de red. Por otro lado, si una de las operadoras actuales quiere realizar un proyecto similar, los gastos que tendría que afrontar serían menores. Esto se explicará luego con mayor detalle. Lo especificado anteriormente se cumple para los costos de operación que se verá en el siguiente punto.

#### **4.2 Costos de Operación**

Los costos de operación se verán reducidos significativamente gracias al SON (Self Organization Network). El SON es una parte integral de LTE que esta soportada en los releases 8 y 9 del 3GPP que permite la auto-configuración, la auto-operación y la auto-optimización de la red. EL SON permitirá alcanzar ahorros de un 25-30% ya que habrá un menor gasto de mantenimiento y optimización, así como una reducción en personal.

Además debido a la baja frecuencia de operación se tienen menos sites por lo que hay un gasto menos en cuanto a la infraestructura, equipos, alquiler del site, la electricidad y la transmisión.

Entre los costos de operación están los costos por transmisión, costos de explotación, mantenimiento, alquiler del site, gastos de ventas y marketing, así como gastos administrativos.

#### **4.3 Estudio de la factibilidad del proyecto**

Para emitir que tan factible es la realización de este proyecto, hay que analizar los gastos o inversiones de capital, también conocido como CAPEX (CAPital EXpenditures) y los gastos de operación y mantenimiento, también conocido como OPEX (OPeration Expenditures). En ellos se detallan los costos de los factores y

variables antes mencionados. Luego en el flujo de caja se detallará los montos de los ingresos y los egresos y en base a ello se hará una evaluación financiera en base a criterios de inversión como el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Rentabilidad).

#### 4.3.1 CAPEX

Para el análisis del CAPEX se han considerado los siguientes elementos así como los respectivos precios.

**TABLA 4-1: CAPEX DEL PROYECTO**

	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total
<b>EQUIPOS LTE Y SISTEMA RADIANTE</b>			
Estación base eNodeB (HW y SW)	6	70,000.00	420,000.00
Antenas (Incluyendo feeders y conectores)	36	1,200.00	43,200.00
Radio Enlace	6	28,000.00	168,000.00
Enlace satelital	1	13,918,003.00	
<b>INFRAESTRUCTURA</b>			
Sistema de protección contra rayos	6	500.00	3,000.00
Sistema de puesta a tierra	6	1,400.00	8,400.00
Torres	6	2,800.00	16,800.00
Instalación de los equipos	6	3,000.00	18,000.00
Adquisición del site y obras civiles	6	25,000.00	150,000.00
<b>TERMINALES</b>			
USB dongues LTE	1500	120.00	180,000.00
Equipos móviles LTE	1500	300.00	450,000.00
<b>OTROS</b>			
Permisos municipales y licencias	6	5,000.00	30,000.00
Margen de error	5.00%		74,370.00
<b>TOTAL CAPEX</b>			<b>1,561,770.00</b>

Como se puede apreciar en la Tabla 4.1, hay cuatro sub-grupos bien definidos que se describen a continuación.

## **EQUIPOS LTE Y SISTEMA RADIANTE**

El costo de las estaciones base eNodeB no están definidos en la actualidad y el valor indicado en el precio unitario corresponde a los precios que hay actualmente en las estaciones base 3G incrementado en un 25% aproximadamente, considerando tanto el HW como el SW. En el Perú no hay estaciones base que permitan una actualización a LTE por lo que las operadoras actuales tendrán que invertir en nuevos equipos.

El valor indicado en el precio unitario incluye los costos de los feeders y conectores. Como se está usando una configuración 2x2 MIMO, son dos antenas por cada sector y al ser tres sectores por estación base tenemos el valor indicado en la cantidad que se muestra de 36 antenas.

Los radio enlaces incluyen todos los costos de los equipos que se necesitan para hacer uno. Se está considerando todos los enlaces que interconectan los eNodeBs incluyendo el repetidor y sin contar con el site de Machipicchu. También se está considerando el enlace entre Cusco Centro y el punto de interconexión con la red de transporte principal existente (sin contar los repetidores que pueda haber si se da el caso).

Y por último está el costo del enlace satelital que conectará a Machupicchu con Lima haciendo posible la comunicación móvil y el uso del servicio de datos en ese lugar. El valor es demasiado alto tal y como se puede ver en la Tabla 4.1, y el gasto que tendría que hacer una nueva operadora móvil que entre al mercado no es conveniente por lo que no se le incluye en el CAPEX total. A los que si les conviene son a los operadores satelitales, como es el caso en Estados Unidos de SkyTerra que ha anunciado su entrada al mercado 4G para competir con operadoras como AT&T y Verizon Wireless [46]. En todo caso, los que podrían brindar un servicio móvil de este tipo son Claro y Movistar con el actual enlace que tienen en Machupicchu y las nuevas operadoras con un costo satelital menor y por lo tanto, una menor capacidad tal que les permita satisfacer a un número reducido de usuarios.

## **INFRAESTRUCTURA**

En el caso de las operadoras que ya tienen redes desplegadas en Cusco, mucho de los gastos en infraestructura no se considerarían como la adquisición de site y

obras civiles. Esto significa un gran ahorro para un operador actual y lo pondría en ventaja frente a uno nuevo.

### TERMINALES

En cuanto a los terminales, en un inicio se introducirá al mercado los USB dongues LTE que ya se están usando en redes LTE a nivel mundial. En el caso de los equipos móviles no se tiene mucha información al respecto, y se estima que en el 2011 a 2012 ya habrá una producción en el mercado de esos equipos de forma masiva.

### OTROS

Además se incluyen los permisos municipales, licencias y un margen de error del 5% por si se ha cometido algún error en el cálculo.

#### 4.3.2 OPEX

Para el análisis del CAPEX se han considerado los siguientes elementos así como los respectivos precios.

**TABLA 4-2: OPEX DEL PROYECTO**

	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total
<b>COSTO PROMEDIO POR TRAFICO</b>			
Cusco	1812	75.00	162,150.00
Machupicchu	350	75.00	135,900.00
Urubamba	389	75.00	26,250.00
<b>COSTOS DE EXPLOTACION</b>			
Operaciones de red			200,000.00
Canon Radioeléctrico	2551	2.57	6,556.07
<b>MANTENIMIENTO</b>			
Mantenimiento preventivo anual de los eNodeBs			10,000.00
Mantenimiento correctivo			326.00
<b>DIFUSION Y GASTOS GENERALES</b>			
Alquiler del site	6	5,000.00	30,000.00
Gastos de ventas, marketing			280,000.00
Gastos administrativos			300,000.00
<b>OTROS</b>			
Margen de error	5.00%		57,559.10
<b>TOTAL OPEX</b>			<b>1,046,591.17</b>

Como se puede apreciar en la Tabla 4.2, hay cinco sub-grupos bien definidos que se describen a continuación.

### **COSTO PROMEDIO POR TRAFICO**

En el costo promedio por tráfico se está considerando un valor unitario por cliente de \$75.00 aproximadamente asumiendo una tasa fija promedio de 3 Mbps por usuario (en hora cargada). Solo se está evaluando en un inicio lo que es datos, no se incluye en este costo lo referente al tráfico de voz.

### **COSTOS DE EXPLOTACION**

En cuanto al costo de operaciones de red, se está considerando el valor de \$ 100,000.00 en base a una reducción del 80% de lo que suele costar en redes 3G. Esto debido a lo que se explicó del SON en costos de operación.

En cuanto al canon radioeléctrico, en el decreto supremo N° 311-2009-EF publicado el 30 de diciembre del 2009, se aprobó que el nuevo valor de la UIT (Unidad Impositiva Tributaria) para el 2010 fuera de S/.3600, por lo que para efectos de la tasa de canon anual se considera el 0.2% de UIT que da alrededor de \$2.57 por usuario anual. El valor final obtenido en la Tabla 4.2 proviene del producto de líneas en servicio y el canon por usuario anual. La tasa de cambio que se tomo para efectos del cálculo fue de 2.8 nuevos soles por dólar.

### **MANTENIMIENTO**

Los costos de mantenimiento tanto preventivos como correctivos se reducen significativamente debido al SON. Todo se podrá controlar y las fallas se podrán detectar corrigiéndolas en el NOC (Network Operations Center) de cada operadora. De esa manera se reducen visitas, personal, tiempo, entre otros factores relevantes en el proceso de mantenimiento.

### **DIFUSION Y GASTOS GENERALES**

El costo del alquiler del site no será problema para las operadoras que ya tienen sus redes desplegadas en el Cusco ya que podrán usar las que tienen. Pero para las nuevas operadoras, sí significará una inversión importante. Y lo que si se ha considerado es una fuerte inversión en el área de ventas y de marketing, que afectará directamente a los gastos administrativos. Esto debido a que se espera que la concentración de esfuerzos y la mayor inversión se de en los dos primeros

años con el objetivo de captar la mayor cantidad de clientes y poder recuperar lo invertido.

## OTROS

Al igual que en el CAPEX, se está incluyendo el margen de error del 5% por si se ha cometido algún error en el cálculo.

### 4.3.3 Flujo de caja y evaluación financiera

En las Tablas 4.3 y 4.4, se puede apreciar todos los ingresos y egresos del proyecto. Como se mencionaba líneas atrás, la inversión más fuerte se realizará en los dos primeros años.

**TABLA 4-3: FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO (I)**

FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO			
AÑOS	0	1	2
<b>INGRESOS</b>		209,755.00	1,615,067.20
Cusco		151,545.00	1,253,230.20
Machupicchu		29,285.00	170,729.00
Urubamba		28,925.00	191,108.00
<b>EGRESOS</b>			
Inversión inicial CAPEX	-1,561,770.00	0.00	-1,717,947.00
Gastos operativos OPEX		-1,046,591.17	-113,091.17
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>-1,561,770.00</b>	<b>-836,836.17</b>	<b>-215,970.97</b>

En el primer año el objetivo será analizar cuánto tráfico generan los clientes y confirmar las horas de mayor tráfico de datos, ofreciéndoles a los clientes en un inicio los USB dongles y algunos terminales de prueba.

En el segundo año lo que se quiere es obtener la mayor cantidad de clientes lanzando una fuerte campaña publicitaria, y por ello los gastos de venta, marketing y administrativos son altos. Y efectivamente, los ingresos tendrían que aumentar significativamente debido también a la introducción de equipos móviles LTE y con el lanzamiento de distintas aplicaciones y servicios.

Si se quiere captar más clientes se requiere aumentar más estaciones base y más infraestructura por lo que aumentarán los egresos del CAPEX. En la Tabla 4.3 se ve que el valor del CAPEX en el segundo año es un poco mayor a la inversión inicial

En cuanto al APEX, conforme aumenten los usuarios, aumenta el costo por tráfico así como el pago por el canon radioeléctrico, pero también se reduce los costos de mantenimiento así como el costo por operaciones de red. Esto debido a que en la inversión inicial, está incluido toda la plataforma del SON y es por eso que conforme pasen los años, el incremento del costo por tráfico se verá balanceado por el decremento de los costos por mantenimiento.

**TABLA 4-4: FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO (II)**

<b>FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO</b>			
<b>AÑOS</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>INGRESOS</b>	<b>1,938,080.64</b>	<b>2,325,696.77</b>	<b>2,790,836.12</b>
Cusco	1,503,876.24	1,804,651.49	2,165,581.79
Machupicchu	204,874.80	245,849.76	295,019.71
Urubamba	229,329.60	275,195.52	330,234.62
<b>EGRESOS</b>			
Inversión inicial CAPEX	-643,200.00	-473,300.00	-408,970.00
Gastos operativos OPEX	-135,709.41	-162,851.29	-195,421.55
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>1,159,171.23</b>	<b>1,689,545.48</b>	<b>2,186,444.57</b>

Ya a partir del tercer año, la inversión en el CAPEX disminuye, como se puede ver en la Tabla 4.4, básicamente a que se empezarán a usar configuraciones de antena MIMO 4x4, con lo que se podrá llegar a alcanzar 345.6 Mbps en el DL, y se podría incluir el uso de femtoceldas para poder aliviar la carga de tráfico. Con esto, solo se tendrá que invertir en las antenas, actualización de SW, equipos como femtoceldas y otros costos que son menores en comparación a los utilizados en los dos primeros años. Los resultados que se obtienen con este tipo de configuración son grandiosos, ya que por estación base se tendría una capacidad aproximada de 1036.8 Mbps, casi un poco más del doble de lo que se tiene con una configuración de 2x2 MIMO. Además se puede ver que a partir del tercer año se comienza a recuperar lo invertido.

Finalmente, en la Tabla 4.5 se puede apreciar que los valores de el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Rentabilidad) son positivos y además son valores que indican que el proyecto es rentable y factible desde el punto de vista económico. Se considero una tasa de descuento del 10%.

TABLA 4-5: VAN Y TIR DEL PROYECTO

VAN	\$881,476.29
TIR	19%



## ***Conclusiones y Recomendaciones***

### **Conclusiones**

- El despliegue de una red LTE en la ciudad del Cusco presenta una serie de dificultades en cuanto a la ubicación de las estaciones base, sobre todo en los lugares turísticos como Machupicchu, pero ese problema también se presenta en las redes actuales. El gran desafío está en la red de transporte ya que el uso de microondas a mediano plazo será ineficiente y la fibra óptica se hace imprescindible para poder soportar las grandes capacidades de transmisión.
- Con respecto al análisis económico, definitivamente la inversión que se tiene que hacer es alta, pero las ganancias y la experiencia que se le puede brindar al usuario son también elevadas. Todo lo dicho se aplica para una nueva operadora, pero para operadoras que ya cuentan con un despliegue de redes 3G en Cusco, los costos de inversión se reducen entre un 15 y 25%. Los indicadores como el VAN y el TIR nos indican que el proyecto es rentable desde todo punto de vista.
- La distancia teórica obtenida fue de 15.95 km, distancia que es válida y eso se puede comprobar en campo realizando mediciones en los clusters de las estaciones base o haciendo recorridos de drive test. Pero a esa distancia las velocidades obtenidas no llegan a cumplir los KPIs que piden las operadoras. Es por ello que sólo se considera el 30% de dicha distancia.

## Recomendaciones

- Se recomienda hacer un análisis en la red de transporte que permita determinar la capacidad total que se tendría que soportar, ya que el transporte es determinante a la hora de desplegar una red de acceso. Una nueva operadora no ingresaría a un mercado potencial si es que tiene que invertir mucho en transporte o simplemente no existe la red adecuada.
- En la evaluación económica realizada, los costos de los equipos LTE han sido estimados por profesionales basándose en un ligero incremento del actual equipamiento 3G. Esto debido a que no se tiene mayor información al respecto ni por parte de las operadoras ni por los proveedores. Lo que se recomienda es hacer un análisis mucho más real del que se ha realizado con costos aplicados en una red comercial ya desplegada masivamente, red que por el momento aún no existe.



## Bibliografía

- [1] Rysavy Research / 3G Americas  
“*HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*”  
September 2009
- [2] Radio-electronics.com  
“*LTE Advanced for IMT 4G*”  
<http://www.radio-electronics.com/info/celulartelecomms/4g/3gpp-imt-lte-advanced-tutorial.php>  
Última consulta: 03/11/09
- [3] Ken Eriksson  
“*Channel Tracking versus Frequency Hopping for Uplink LTE*”  
Master’s Degree Project Stockholm  
Sweden March 2007
- [4] Hyung G. Myung  
“*Technical Overview of 3GPP LTE*”  
May 18, 2008
- [5] 3GPP TS 36.302 v8.0.0  
“*Services provided by the physical layer*” (2007-12), Release 8  
[http://www.arib.or.jp/IMT-2000/V700Sep08/5\\_Appendix/Rel8/36/36302-800.pdf](http://www.arib.or.jp/IMT-2000/V700Sep08/5_Appendix/Rel8/36/36302-800.pdf)  
Última consulta: 04/11/09
- [6] Jim Zyren  
“*Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer*”  
White paper  
July 2007
- [7] Pierre Lescuyer, Thierry Lucidarme  
“*Evolved Packet System: The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS*”  
John Wiley & Sons Ltd, 2008

- [8] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld, Per Beming  
“3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband”, 2nd edition  
Academic Press, 2007
- [9] 3GPP TS 36.300 V9.2.0  
“E-UTRA and E-UTRAN Overall Description (Release 9)”  
<http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36%5Fseries/36.300/>  
Última consulta: 27/12/09
- [10] Syed Hamid Ali Shah, Mudasar Iqbal, Tassadaq Hussain  
“Comparison between WiMAX and LTE”  
Thesis Degree Master of Science in Electrical Engineering  
August 2009  
[http://www.bth.se/fou/cuppsats.nsf/all/57c2044edfa0e5dfc125761300686a74/\\$file/Final%20Report%20of%20thesis.pdf](http://www.bth.se/fou/cuppsats.nsf/all/57c2044edfa0e5dfc125761300686a74/$file/Final%20Report%20of%20thesis.pdf)  
Última consulta: 04/10/09
- [11] 3GPP TS 36.211 V9.0.0  
“Physical Channels and Modulation” Technical Specification Group Radio  
Access Network (2009-12), Release 9  
[http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36\\_series/](http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/)  
Última consulta: 16/12/09
- [12] Radio-electronics.com  
“LTE Physical, Logical and Transport Channels”  
<http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/physical-logical-transport-channels.php>  
Última consulta: 16/11/09
- [13] “UMTS Long Term Evolution (LTE) Technology Introduction”  
Application Note 1MA111  
Rohde & Schwarz Products, 2007  
<http://imperia.mi-verlag.de/imperia/md/upload/article/426.pdf>  
Última consulta: 16/11/09

- [14] Sajid Hussain  
“*Dynamic Radio Resource Management in 3GPP LTE*”  
Thesis Degree Master of Science in Electrical Engineering  
January 2009  
[http://www.bth.se/fou/cuppsats.nsf/all/c858bf5b4979a6b3c1257552004262f6/\\$file/Sajid\\_Hussain\\_MSc\\_Thesis\\_Report.pdf](http://www.bth.se/fou/cuppsats.nsf/all/c858bf5b4979a6b3c1257552004262f6/$file/Sajid_Hussain_MSc_Thesis_Report.pdf)  
Última consulta: 04/10/09
- [15] “*3GPP LTE Channels and MAC Layer*”  
Eventhelix.com Inc. 2009  
<http://www.eventhelix.com/lte/presentations/3GPP-LTE-MAC.pdf>  
Última consulta: 16/11/09
- [16] Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker  
“*LTE – The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice*”, 1st edition  
John Wiley & Sons Ltd, 2009
- [17] 3GPP TS 36.211 V8.7.0  
“*Physical Channels and Modulation*” Technical Specification Group Radio  
Access Network (2009-05), Release 8  
<http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36211.htm>  
Última consulta: 16/11/09
- [18] AGILENT Technologies  
“*3GPP Long Term Evolution System Overview, Product Development and Test  
Challenges*”  
Application Note  
Current to June 2009 3GPP LTE Standard  
<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-8139EN.pdf>  
Última consulta: 17/11/09
- [19] 3GPP TS 36.101 V9.1.0  
“*User Equipment (UE) radio transmission and reception*” Technical Specification  
Group” Radio Access Network (2009-09), Release 9  
<http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36101.htm>  
Última consulta: 17/11/09

- [20] M. Rahman, S. Das, F. Fitzek  
“OFDM based WLAN systems”  
Technical Report  
Aalborg University  
Denmark, February 2005  
<http://kom.aau.dk/~ff/documents/TR041002.pdf>  
Última consulta: 18/11/09
- [21] “LTE-Advanced Radio Layer 2 and RRC aspects”  
[http://www.3gpp.org/ftp/workshop/2009-12-17\\_ITU-R\\_IMT-Adv\\_eval/docs/REV-090004.zip](http://www.3gpp.org/ftp/workshop/2009-12-17_ITU-R_IMT-Adv_eval/docs/REV-090004.zip)  
Última consulta: 04/01/10
- [22] Prashant Panigrahi  
“Introduction to LTE”  
3gLTEInfo 3G AND LTE TUTORIALS  
November 10<sup>th</sup>, 2009  
<http://www.3glteinfo.com/introduction-to-lte>  
Última consulta: 17/01/10
- [23] ABOUT CUSCO – Travel Guide  
“Cusco”  
<http://www.aboutcusco.com/cusco/spa/cities02.asp>  
Última consulta: 26/03/10
- [24] INEI - Indicadores Demográficos  
“CUSCO: POBLACION PROYECTADA”  
[http://www1.inei.gob.pe/perucifrasHTM/inf-dem/cuadro.asp?cod=9007&name=d08\\_02&ext=jpg](http://www1.inei.gob.pe/perucifrasHTM/inf-dem/cuadro.asp?cod=9007&name=d08_02&ext=jpg)  
Última consulta: 26/03/10
- [25] INEI Fuente: Censos Nacionales 2007  
“Banco de Información Distrital”  
<http://desa.inei.gob.pe/mapas/bid/>  
Última consulta: 26/03/10

- [26] ProInversión  
“Cuzco Estadísticas – Información de Interés”  
<http://www.proinversion.gob.pe/0/0/modulos/JER/PlantillaSectorHijo.aspx?ARE=0&PFL=0&JER=3310>  
Última consulta: 27/03/10
- [27] Ministerio de Agricultura  
“Estadística Agraria Mensual”  
<http://www.minag.gob.pe/boletines/estadistica-agraria-mensual.html>  
Última consulta: 27/03/10
- [28] InfoTourPeru.com  
“Cusco recibió más de un millón y medio de turistas este año”  
<http://www.infotourperu.com/noticias/leermas-8542.html>  
Última consulta: 27/03/10
- [29] DIRECTUR Cusco  
“Estadísticas 2009 a setiembre”  
<http://www.dirceturcusco.gob.pe/estadistica/pdf/ESTADISTICAS%202009%20A%20set.pdf>  
Última consulta: 27/03/10
- [30] OSIPTEL  
“ESTADISTICAS INVESTIGACIONES Y PUBLICACIONES”  
<http://www.osiptel.gob.pe/WebSiteAjax/WebFormGeneral/sector/VerInfoEstadistica.aspx>  
Última consulta: 27/03/10
- [31] Directur  
“ESTADISTICAS”  
Mintra  
Municipalidad del Callao
- [32] Ministerio de Transportes y Comunicaciones  
“ESTADISTICAS TELECOMUNICACIONES”  
<http://www.mtc.gob.pe/estadisticas/index.html>  
Última consulta: 19/06/10

- [33] GEO INCA TRAVEL  
“MAPAS”  
<http://geoincatravel.com/en/maps-peru>  
Última consulta: 31/03/10
- [34] Peru-Tours.com  
“Cusco Centro de Información Turística”  
[http://www.peru-tours.com.pe/cusco\\_informacion\\_turistica.htm](http://www.peru-tours.com.pe/cusco_informacion_turistica.htm)  
Última consulta: 31/03/10
- [35] Alcatel-Lucent  
“Interworking LTE EPC with W-CDMA Packet Switched Mobile Cores”  
Technology White Paper
- [36] Current Analysis  
“Mobile Packet Core: Engine of Mobile Broadband Success”  
Advisory Report  
March 17, 2010
- [37] Alcatel-Lucent  
“Alcatel-Lucent EPC”  
Diapositivas de Telefónica Móviles
- [38] Resolución ministerial N 150-2010-MTC/03  
Modificación PNAF  
Marzo, 2010
- [39] Fernandez Pilco, Percy  
Separatas del curso de Planificación de redes de telecomunicaciones  
Periodo 2010-1
- [40] Harri Holma and Antti Toskala  
“LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access”  
John Wiley & Sons, Ltd  
2009

- [41] ITU/BDT Arab Regional Workshop  
“4G Wireless Systems”  
Session 5: LTE Technology Performance Evaluation  
January, 2010
- [42] Motorola  
“Realistic LTE Performance”  
White paper  
2009
- [43] Motorola  
“Long Term Evolution (LTE): A Technical Overview”  
Technical white paper  
2007
- [44] TeleSemana.com  
Noticias – Banda ancha Perú  
<http://www.telesemana.com/noticias/detalle.php?id=3992>  
Última consulta: 24/06/10
- [45] eWeek.com  
“Satellite Operators Getting in Position for 4G LTE Services, Says ABI”  
<http://www.eweek.com/c/a/Mobile-and-Wireless/Satellite-Operators-Getting-In-Position-for-4G-LTE-Services-Says-ABI-881271/19> de Mayo del 2010  
Última consulta: 24/06/10
- [46] Intomobile.com  
“New satellite LTE network could challenge AT&T, Verizon”  
<http://www.intomobile.com/2010/03/29/new-satellite-lte-network-could-challenge-att-verizon/>  
Última consulta: 25/06/10

## **Anexos**

### **Anexo1: R.M del PNAF – 30 de marzo del 2010**

Se presenta en este anexo el documento publicado en el MTC en donde se modifican los puntos P11A y P51 del PNAF, y se presenta el cuadro de atribución de frecuencias de la banda 614-806 MHz.

### **Anexo2: eNodeB LTE de Alcatel Lucent**

Se presenta en este anexo las especificaciones técnicas del equipo 9326 digital 2U NodeB de Alcatel-Lucent.

### **Anexo3: Service Router 7750 de Alcatel Lucent**

Se presenta en este anexo las especificaciones técnicas del router de borde multiservicio para el S-GW y el P-GW.

### **Anexo4: Antena Andrew LTE 700 MHz**

Se presenta en este anexo las especificaciones técnicas de las antenas a usar en la banda de 700 MHz.