



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**“RENOVACIÓN TECNOLÓGICA**

**GSM / UMTS / LTE**

**PROYECTO SWAP 2014 – 2015”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO

ELECTRÓNICO

Presentado por: Bach. César Gabriel Jara Castañón

Asesor: Henry Gómez Del Carpio

TACNA, 2017

## **DEDICATORIA**

A mis padres Maria Luisa Gabriela y Miguel,  
quienes son mi soporte y empuje en todo momento de mi vida

Y a mi hermano Oscar,  
quien es mi apoyo y consejero de siempre.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis profesores por el tiempo dedicado  
a lo largo de mi carrea universitaria.

## RESUMEN

La presente tesis consiste en la renovación tecnológica de una estación base celular con uso de antenas tritecnología dual band utilizando el uso del espectro licitado en la banda AWS (1700 ~ 2100 MHz) o más conocida como 4G.

El trabajo se ha organizado de la siguiente manera:

En el primer capítulo, se presenta el planteamiento del problema de las zonas que se intervendrán de acuerdo a la infraestructura de telecomunicaciones en base a la cobertura a nivel nacional, tecnología a implementar para la empresa Entel Perú. Así mismo, se da a conocer el objetivo de la investigación, justificación del estudio y la problemática.

En el segundo capítulo, abarca el marco teórico, en el cual se estudia los antecedentes del estudio y la importancia de las tecnologías y normativas asociadas fijadas en bases teóricas de las nuevas tecnologías.

En el tercer capítulo, se presenta la metodología usada para la implementación del equipamiento para el nodoB, brindando la descripción del ámbito de la investigación y la estructura en la que se sienta el proyecto, cronograma de trabajo, instalación de un nodoB, adecuaciones para equipamiento nuevo. Así también se presenta la etapa de initial tuning, optimización de red y cierre documentario del proyecto implementado.

En el cuarto capítulo, se exponen los resultados obtenidos tras la renovación tecnológica ejecutada, posicionamiento en el mercado de telefonía móvil y la inversión que se realizó.

En el quinto y último capítulo, veremos la discusión de los resultados orientados en la implementación, las mejoras de la nueva red y el posicionamiento en el mercado de telefonía móvil con nueva inversión.

## INDICE

LISTA DE TABLAS.....	12
LISTA DE FIGURAS .....	12
LISTA DE FOTOS .....	15
INTRODUCCIÓN .....	16
CAPITULO I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	17
1.1. Planteamiento del Problema .....	17
1.2. Formulación del Problema .....	17
1.2.1. Caracterización Geográfica .....	17
1.2.2. Caracterización Demográfica .....	17
1.3. Infraestructura de Telecomunicaciones.....	23
1.3.1. Cobertura.....	23
1.3.2. Tecnología.....	24
1.3.3. Empresa: ENTEL PERU S.A.....	24
1.4. Objetivos de la Investigación .....	25
1.4.1. Objetivo General.....	25
1.4.2. Objetivos Específicos.....	26
1.5. Justificación del Estudio.....	28
1.6. Problemática .....	30
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....	31

2.1.	Antecedentes del estudio.....	31
2.1.1.	Tecnologías y normativa asociada.....	31
2.2.	Bases Teóricas .....	32
2.2.1.	GSM.....	32
2.2.1.1.	Antecedentes y Requerimientos.....	32
2.2.1.2.	Ventajas del GSM .....	34
2.2.1.3.	Evolución del GSM.....	35
2.2.1.4.	Interfaces abiertas para GSM.....	38
2.2.1.5.	Especificaciones técnicas para GSM.....	41
2.2.2.	UMTS.....	42
2.2.2.1.	Tecnología WCDMA .....	42
2.2.2.2.	Principales características técnicas.....	43
2.2.2.3.	Conceptos Básicos.....	45
2.2.2.3.1.	Ensanchado y Des-ensanchado (Spreading and Despreading).....	45
2.2.2.3.2.	Multi-caminos y recepción RAKE .....	46
2.2.2.3.3.	Control de potencia.....	48
2.2.2.3.4.	Softer y Soft Hand-overs.....	49
2.2.2.4.	Estructura de la red.....	51
2.2.2.4.1.	UTRAN.....	52
2.2.2.4.1.1.	RNC – Controlador de Radio de la red.....	52
2.2.2.4.1.2.	Nodo B .....	53

2.2.2.4.1.3.	Interfaces y elementos del Núcleo de Red .....	53
2.2.3.	LTE .....	55
2.2.3.1.	Long Term Evolution (LTE).....	55
2.2.3.2.	Breve Historia de LTE.....	57
2.2.3.2.1.	Arquitectura de la red LTE.....	59
2.2.3.2.1.1.	Arquitectura de red 3GPP .....	59
2.2.3.3.	Evolución de UTRAN a E-UTRAN.....	62
2.2.3.4.	Paso hacia la arquitectura Final de LTE.....	64
2.2.3.4.1.	Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA).....	65
2.2.3.4.2.	Simple Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA).....	67
2.2.3.4.3.	Antenas MIMO.....	68
2.2.3.4.4.	Ventajas de LTE .....	68
2.2.3.4.5.	Servicios en LTE .....	69
2.2.3.5.	IP Multimedia Subsystem (IMS) .....	70
2.2.3.5.1.	Historia del IMS .....	71
2.2.3.5.2.	Arquitectura NGN.....	72
2.2.3.5.3.	Session Initiation Protocol (SIP) .....	73
2.2.3.5.4.	Arquitectura IMS .....	76
2.2.3.5.5.	IMS y LTE.....	78
2.2.3.5.6.	Ventajas de IMS .....	79
2.2.4.	MPLS .....	81

2.2.4.1.	Estudio de las redes NGN.....	81
2.2.4.1.1.	Definición de NGN.....	81
2.2.4.1.2.	Características de NGN.....	82
2.2.4.1.3.	Arquitectura NGN.....	83
2.2.4.1.3.1.	Diferentes capas.....	83
2.2.4.1.3.2.	Arquitectura Funcional NGN de la ITU-T.....	85
2.2.4.1.4.	Principios generales de la Arquitectura funcional NGN.....	88
2.2.4.1.5.	Tendencias en los modelos de red .....	89
2.2.4.1.6.	Evolución de las redes hacia NGN .....	90
2.2.5.	DWDM.....	93
2.2.5.1.	Definición de DWDM .....	93
2.2.5.2.	Componentes de una red DWDM .....	96
2.2.5.3.	Fibra Óptica .....	97
2.2.5.3.1.	Tipos de Fibra.....	100
2.2.5.3.2.	Bandas ópticas de comunicación.....	101
2.2.5.3.3.	Fibras monomodo estandarizadas. [20]: .....	102
2.2.5.3.4.	Factores a considerar en una transmisión por fibra óptica.....	104
2.2.5.3.4.1.	Atenuación .....	104
2.2.5.3.4.2.	Dispersión.....	106
2.2.5.3.4.3.	No linealidades .....	108
2.2.5.4.	Arquitecturas en DWDM.....	109

2.2.5.4.1.	Topología punto a punto .....	110
2.2.5.4.2.	Topología en malla .....	112
2.3.	Definición de términos.....	113
2.4.	Hipótesis.....	119
2.4.1.	Hipótesis general .....	119
2.4.2.	Hipótesis específica .....	119
2.5.	Variables.....	119
2.5.1.	Definición conceptual de la variable.....	120
2.5.2.	Definición operacional de la variable .....	121
2.5.3.	Matriz de consistencia.....	121
CAPITULO III: METODOLOGIA .....		122
3.1.	Tipo y nivel de la investigación.....	122
3.2.	Descripción del ámbito de la investigación.....	122
3.2.1.	Estructura del Proyecto .....	124
3.2.2.	Instalación de un NodoB .....	127
3.3.	Población y muestra.....	128
3.4.	Técnica e instrumentos para la recolección de datos .....	129
3.4.1.	Cronograma .....	129
3.4.2.	Asignación de estación base.....	130
3.4.3.	Estudio de campo (TSS-Technical Site Survey) .....	130
3.4.4.	Parámetros geográficos .....	131

3.4.5.	Adecuaciones para nuevos equipos .....	131
3.4.6.	Parámetros de ingeniería .....	135
3.4.7.	Metrajes.....	138
3.4.8.	Listado de materiales .....	138
3.4.9.	Asignaciones de estaciones a cooperador .....	141
3.4.10.	Gestión de accesos .....	142
3.5.	Plan de recolección y procesamiento de datos .....	142
3.5.1.	Instalación NodoB .....	142
3.5.2.	Puesta al aire de un NodoB .....	149
3.5.3.	Aceptación de la estación (ATP) .....	150
3.5.4.	Cierre de una estación .....	153
3.5.5.	Initial tuning – Operaciones RAN .....	155
3.5.6.	Optimización de red de acceso .....	156
3.6.	Gastos estimados.....	160
CAPITULO IV: RESULTADOS .....		165
CAPITULO V: DISCUSIÓN .....		167
CONCLUSIONES .....		168
RECOMENDACIONES .....		170
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		171
ANEXOS.....		174

## INDICE DE TABLAS, FIGURAS Y FOTOS

### LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Evolucion demográfica INEI .....	20
Tabla 2: Instituto Nacional de Estadística e Informática. ....	21
Tabla 3: Principales parámetros de WCDMA .....	44
Tabla 4: Comparación entre las versiones de LTE .....	56
Tabla 5: Cronograma de actividades.....	130
Tabla 6: DATAFILL de la estación VILLA_EL_SALVADOR .....	135
Tabla 7: Características AAU 3910 .....	138
Tabla 8: Lista de materiales locales .....	139
Tabla 9: Lista de materiales de equipos Huawei .....	140
Tabla 10: Costos estimados .....	160
Tabla 11: Total precios.....	164

### LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa Geográfico del Perú.....	21
Figura 2: Ubicación de sites a nivel Nacional .....	24
Figura 3: Súper Core Lima .....	26
Figura 4: Configuración de Portadoras .....	28
Figura 5: GSM – Global System for Mobile Communications.....	33
Figura 6: Clientes GSM en todo el mundo para finales de cada año .....	38
Figura 7: Los 3 subsistemas GSM con sus interfaces.....	40
Figura 8: Insertando la tarjeta SIM en un teléfono móvil. ....	40
Figura 9: Asignación del ancho de banda en WCDMA.....	43

Figura 10: Ensanchado y Des-ensanchado de la señal.....	45
Figura 11: Efecto de Multi-caminos .....	46
Figura 12: Diagrama de bloques de un receptor RAKE para CDMA .....	47
Figura 13: Softer Hand-over.....	50
Figura 14: Soft hand-over.....	50
Figura 15: Elementos de una red Publica Móvil .....	52
Figura 16: Topología de una red WCDMA.....	53
Figura 17: Evolución a través del tiempo de los Estándares 3GPP .....	58
Figura 18: Arquitectura de red UMTS .....	62
Figura 19: Evolución desde UTRAN a E-UTRAN .....	64
Figura 20: Arquitectura General de LTE .....	65
Figura 21: Comparación en lo que respecta a ahorro de Ancho de Banda entre FDM y OFDM .....	66
Figura 22: Vista de OFDMA y SC-FDMA en forma gráfica.....	68
Figura 23: Estratos de IMS.....	73
Figura 24: Trapezoide SIP.....	75
Figura 25: Arquitectura General de IMS.....	77
Figura 26: IMS y LTE.....	78
Figura 27: Arquitectura NGN.....	85
Figura 28: Arquitectura Funcional NGN .....	85
Figura 29: Modelo Vertical .....	89
Figura 30: Modelo Horizontal .....	90
Figura 31: Redes Clásicas .....	91
Figura 32: TDM (Multiplexación por División de Tiempo).....	94
Figura 33: WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda).....	94

Figura 34: Aumento de capacidad por integración de TDM y WDM .....	95
Figura 35: Componentes de una enlace DWDM.....	97
Figura 36: Componentes de una fibra óptica.....	97
Figura 37: Principio de reflexión total interna.....	98
Figura 38: Tipos de fibra [18].....	101
Figura 39: Bandas de comunicación óptica.....	102
Figura 40: Dispersión de Rayleigh .....	105
Figura 41: Curva de atenuación total [21].....	106
Figura 42: Principio de dispersión .....	106
Figura 43: Dispersión cromática.....	107
Figura 44: Mezclado de cuatro ondas .....	109
Figura 45: Arquitectura punto a punto .....	110
Figura 46: Arquitecturas en anillo .....	111
Figura 47: Arquitectura en malla, punto a punto y anillo .....	112
Figura 48: Descripción antena AAU3910.....	137
Figura 49: Asignación de slots para tarjetas BBU3900 Modo LTE.....	146
Figura 50: Conexión con el NodoB VILLA_EL_SALVADOR .....	149
Figura 51: Sistema de medición de ROE .....	150
Figura 52: Medición de ROE (VSWR).....	152
Figura 53: Carpetas a presentar solicitadas por HUAWEI.....	154
Figura 54: Plot Ec/Io – Drive Test.....	155
Figura 55: SSV con cambios – Drive Test.....	156
Figura 56: Accessibility CS-FB.....	158
Figura 57: Accessibility LTE .....	158
Figura 58: Throughput PS .....	159

Figura 59: Traffic Downwlink.....	159
Figura 60: Usuarios LTE.....	159

## **LISTA DE FOTOS**

Foto 1: Montaje en torre existente para las antenas, las RRUs .....	133
Foto 2: Gabinete de transmisión instalado .....	134
Foto 3: Configuración antena AAU3910 .....	136
Foto 4: Materiales nacionales usados en la instalación.....	140
Foto 5: Equipos HUAWEI utilizados en la instalación .....	141
Foto 6: BBU+DCDU instalado en el gabinete de transmisión.....	144
Foto 7: RRU + antenas + filtro instalados en torre .....	144
Foto 8: Recorrido en torre de cables de energía y fibra óptica.....	145
Foto 9: RRU aterradas a barra de tierra.....	145
Foto 10: Equipo PE-RAN CISCO ASR 9006 .....	147
Foto 11: Equipo DWDM y patchpanel .....	148
Foto 12: Potencia del 1er sector de la estación VILLA_EL_SALVADOR.....	153

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de estar cada vez más conectados en cualquier lugar, de cualquier forma y en todo momento ha incrementado de manera extraordinaria el uso de las comunicaciones móviles, lo que las hace formar parte del día a día de las personas y así mismo impulsar el crecimiento económico.

Conforme transcurre el tiempo, las tecnologías van evolucionando y las necesidades de las personas se vuelven mayores lo que implica que los sistemas de comunicaciones móviles también evolucionen para satisfacer las mismas. Hoy en día, estar constantemente comunicados a través de un teléfono móvil que no solo sirva para realizar una llamada sino también para disfrutar de las novedades del despliegue multimedia, se ha vuelto parte esencial de la vida de las personas.

Por ello, la prioridad de poder contar con la alta disponibilidad del servicio ha motivado a evolucionar tecnológicamente en equipamiento físico que permita llevar telefonía efectiva con calidad de servicio.

La presente tesis brindará una solución con la llegada de nuevas tecnologías para el servicio de los usuarios utilizando la gestión de proyectos para la ejecución de esta evolución tecnológica.

## **CAPITULO I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Nextel enmarcado en su expansión en Perú inicia proceso de RFQ con el fin de adjudicar el equipamiento de la red de acceso móvil en tecnologías GSM, HSPA+ y LTE, por ser la banda nueva ganada en licitación, indicando el detalle de crecimiento y modularidad para cada uno de los equipos, sistemas o subsistemas, hardware o software y licencias.

### **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.2.1. Caracterización Geográfica**

El Perú se encuentra situado en la parte central y occidental de América del Sur (UTM N7970840.422; E552505.422; ZONA 18). Está conformado por un territorio de una superficie continental de 1.285.215,60 km<sup>2</sup> de superficie, lo que representa el 0.87% del planeta, que se distribuyen en región costera 136.232,85 km<sup>2</sup> (10,6%), región andina 404.842,91 km<sup>2</sup> (31,5%) y región amazónica 754.139,84 km<sup>2</sup> (57,9%); el extremo septentrional del territorio peruano se encuentra el río Putumayo a 0°02'00" latitud sur, el extremo meridional se encuentra a orillas del mar en Tacna (punto La Concordia) a 18°21'03" latitud sur; el extremo oriental está en el río Heath en Madre de Dios a 68°39'00" longitud este y el extremo occidental se encuentra en Caleta Punta Balcones en Pariñas, Talara, Piura a 81°19'35".

#### **1.2.2. Caracterización Demográfica**

La población del Perú de acuerdo con estimaciones y proyecciones del Instituto Nacional de Estadística e Informática hasta el 30 de junio de 2014, ascendía a 30 814 175 habitantes con una densidad promedio de 24 habitantes por km<sup>2</sup> y su tasa de

crecimiento anual es de 1,1 %.<sup>2</sup> El 52,6 % de la población peruana vive en la costa, el 38 % en la sierra, y el 9,4 % en la selva.

La población económicamente activa equivale al 73,57 % del total de la población, es decir 22 668 626 habitantes.<sup>8</sup> Las personas mayores de 65 años representan el 6,4 %.<sup>9</sup> La esperanza de vida para los hombres es de 72 años, mientras que para las mujeres es de 77 años.<sup>4</sup> El país tiene un índice de alfabetización del 87,73 %.<sup>10</sup>

A pesar de su acelerado crecimiento económico, el Perú sigue registrando índices socio laborales problemáticos. La tasa de mortalidad infantil es de 17,96 %,<sup>3</sup> muy por encima de otros países de América Latina. Las tasas de pobreza total e indigencia (pobreza extrema) son respectivamente 23,9 % y 4,7 %.<sup>11</sup> <sup>12</sup> El Perú es un país multiétnico, multirracial y pluricultural, el Estado reconoce setenta y dos grupos etnolingüísticos agrupados en dieciséis familias lingüísticas.

### **Población total**

La población total —población censada más la omitida— de la República del Perú según los Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda realizados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática ascendía a 28 220 764 habitantes, con una densidad media de 21,95 hab/km<sup>2</sup>; la población censada en dicho año fue de 27 412 157. El crecimiento poblacional se cifró en el 1,14 % anual, una de las tasas más bajas de la historia peruana. El país experimentó una transición demográfica durante el siglo XX, su población pasó de 7 023 111 en 1940 a 22 639 443 habitantes en 1993 al crecer a tasas entre 2 % a 2,8 % durante dicho lapso.

La década de 1970 presentó la mayor tasa de crecimiento: 2,8 %. Como la migración internacional ha sido poco relevante hasta los años 1980, el factor crucial del

crecimiento poblacional entre las décadas de 1960 y 1970 fue la caída de la mortalidad. De la población censada el 50,3 % (13 789 517) eran mujeres y el 49,7 % (13 622 640) varones. La cantidad de personas menores de 15 años ascendía a 8 357 533, y las mayores de 60 años a 2 495 643, la edad promedio era de 28,4 años.<sup>15</sup>

### **Población urbana y rural**

La población censada en 2007 en los centros urbanos ascendía a 20 810 288 habitantes, que representa el 75,9 % de la población nacional. La población censada en los poblados rurales fue de 6 601 869 personas, es decir el 24,1 % de la población empadronada. La configuración actual de distribución demográfica en el Perú se debe a varios aspectos sociales, políticos y económicos, que produjeron una masiva migración del campo a la ciudad, los mismos que se gestaron durante el siglo XX, tales como el empobrecimiento general del país, la expansión los latifundios — que mermaron el número de tierras disponibles para los campesinos—, el aumento de la tasa de natalidad, disminución de la mortalidad, el acceso a la educación, la cobertura sanitaria, y el terrorismo a partir de 1980. En los 67 años comprendidos en el periodo intercensal de 1940 y 2007, la población total censada creció 4,4 veces, la población urbana creció 9,5 veces y la población rural, ha crecido en 1,6 veces. Esto quiere decir que el crecimiento demográfico en Perú se orienta principalmente hacia los centros urbanos.

### **Distribución territorial**

Las corrientes migratorias hacia las áreas urbanas e industriales han determinado grandes contrastes en la ocupación del territorio. A consecuencia de ello en la franja

costera que representa el 7,5 % del territorio nacional vive el 54,6 % de peruanos; en la sierra que representa el 30,5 % del territorio vive el 32 %; y en la selva la mayor región natural del Perú en cuanto a extensión, que representa el 62 % del territorio, tan solo vive el 13,4 %.

Según el censo de 2007 los cinco departamentos con mayor población son Lima, Piura, La Libertad, Cajamarca y Puno, en conjunto concentran más de la mitad de la población nacional (52,5 %). Al contrario, los cinco departamentos menos poblados en 2007 son Madre de Dios, Moquegua, Tumbes, Pasco y Tacna. Los departamentos de la selva han experimentado un aumento considerable en cuanto al volumen de población, respecto del resto de departamentos del país.

Tabla 1: Evolución demográfica INEI

Evolución Demográfica (INEI)				
Región natural	1940	1972	1993	2007
Costa	28,3%	46,1%	52,4%	54,6%
Sierra	65%	44%	34,8%	32%
Selva	6,7%	9,9%	12,8%	13,4%

Fuente: INEI

Elaboración: INEI

Figura 1: Mapa Geográfico del Perú



Fuente: INEI  
Elaboración: INEI

### Departamentos por población

Tabla 2: INEI.

Departamentos					
Nombre	Población	Porcentaje	Superficie	Densidad	
	censada(2007)†15	2007β19	(km <sup>2</sup> )	(hab/km <sup>2</sup> )§	
Lima	8 445 211	30,8%	34 801,59	242,7	(7 596 058)
Piura	1 676 315	6,1%	35 892,49	46,7	(377 496)
La Libertad	1 617 050	5,9%	25 499,9	63,4	(682 834)
Cajamarca	1 387 809	5,1%	33 317,54	41,7	(162 326)
Puno	1 268 441	4,6%	66 997,12λ	18,9	(216 716)
Junín	1 225 474	4,5%	44 197,23	27,7	(323 054)
Cuzco	1 171 403	4,3%	71 986,5	16,3	(348 935)

Arequipa	1 152 303	4,2%	63 345,39	18,2	(749 291)
Lambayeque	1 112 868	4,1%	14 231,3	78,2	(524 442)
Áncash	1 063 459	3,9%	35 914,41	29,6	(334 568)
Loreto	891 732	3,3%	368 851,95	2,4	(370 962)
Callao	876 877	3,2%	146,98	5966	(876 877)
Huánuco	762 223	2,8%	36 848,85	20,7	(149 210)
San Martín	728 808	2,7%	51 253,31	14,2	(117 184)
Ica	711 932	2,6%	21 327,83	33,4	(219 856)
Ayacucho	612 489	2,2%	43 814,8	14	(151 019)
Huancavelica	454 797	1,7%	22 131,47	20,5	(41 331)
Ucayali	432 159	1,6%	102 410,55	4,2	(204 772)
Apurímac	404 190	1,5%	20 895,79	19,3	(51 462)
Amazonas	375 993	1,4%	39 249,13	9,6	(23 202)
Tacna	288 781	1,1%	16 075,89	18	(242 451)
Pasco	280 449	1%	25 319,59	11,1	(66 860)
Tumbes	200 306	0,7%	4669,2	42,9	(94 751)
Moquegua	161 533	0,6%	15 733,97	10,3	(52 430)
Madre de Dios	109 555	0,4%	85 300,54	1,3	(56 382)
Perú	27 412 157	100%	1 285 215,6	21,95	(7 596 058)

Fuente: INEI  
Elaboración: INEI

Población censada, se refiere a la población total menos la omitida durante el censo. La población total en el censo de 2007 ascendía a 28 220 764 habitantes.

La densidad fue calculada con respecto al año 2007.

Porcentaje de la población departamental con respecto del total nacional.

No incluye la superficie del lago Titicaca correspondiente a dicho departamento.

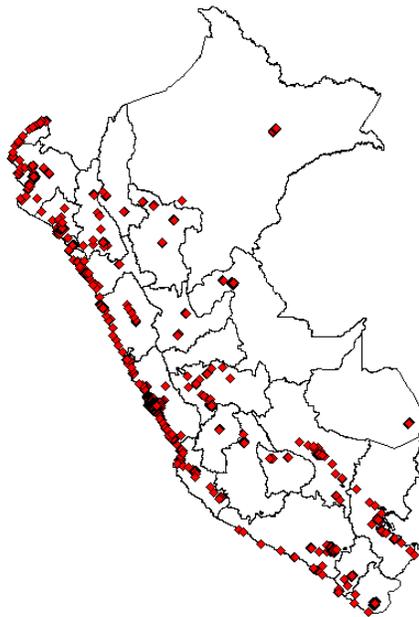
### **1.3. INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES**

La 1ra, 2da y 3era generaciones de sistemas de comunicación móvil tuvieron como objetivo primordial dar soporte a comunicaciones de voz, y aunque pueden ser usadas para transmitir datos a baja y mediana velocidad no satisfacen los requerimientos de transmisión de grandes volúmenes de información a altas velocidades, los cuales son necesarios para aplicaciones como videoconferencia, conexión a Internet, gestión multimedia y correo con video y audio. Por lo que se planteó como solución a estos problemas la instalación de la red de 4ta generación debido a que cuenta con voz IP y con un mayor ancho de banda.

#### **1.3.1. Cobertura**

La 1ra, 2da y 3era generaciones de sistemas de comunicación móvil tuvieron como objetivo primordial dar soporte a comunicaciones de voz, y aunque pueden ser usadas para transmitir datos a baja y mediana velocidad no satisfacen los requerimientos de transmisión de grandes volúmenes de información a altas velocidades, los cuales son necesarios para aplicaciones como videoconferencia, conexión a Internet, gestión multimedia y correo con video y audio. Por lo que se planteó como solución a estos problemas la instalación de la red de 4ta generación debido a que cuenta con voz IP y con un mayor ancho de banda.

Figura 2: Ubicación de sites a nivel Nacional



Fuente: ENTEL PERU S.A.  
Elaboración: ENTEL PERU S.A.

### 1.3.2. Tecnología

El medio de transmisión utilizado es el inalámbrico; se utilizan sistemas de radio MW (Microondas) para comunicar los diferentes centros poblados, desde una estación base celular (nodo B).

### 1.3.3. Empresa: ENTEL PERU S.A

El proceso de Renovación Tecnológica contempla la migración de las radio bases UMTS1900 operativos actualmente en la red de ENTEL a equipos de nueva generación de tecnología y/o Single RAN, minimizando el impacto en el resto de la red y del servicio entregado.

Para hacer el reemplazo tan imperceptible como sea posible con un mínimo impacto para los usuarios finales, es decir, con un mínimo de tiempo sin servicio para cada sitio reemplazado, la migración no sólo debería considerar los aspectos técnicos particulares de cada sitio a ser sustituido, sino que también debe tener especial cuidado con otras actividades relacionadas como Logística (Transporte y Bodega), Instalación, Puesta en Marcha y Drive Test.

La estrategia de actividades contempla realizar la totalidad de las instalaciones, además de todas las pruebas de aceptación tanto en los NodosB como en los RNC. También en los nodos de Core (cuando corresponda); una vez realizado las actividades anteriores se realizará el procedimiento de Renovación Tecnológica.

Con lo anterior se puede definir que la actividad de Renovación Tecnológica se extenderá entre la finalización de las actividades de instalación y pruebas, y el final del proceso, tiempo fijado por los requerimientos de Entel.

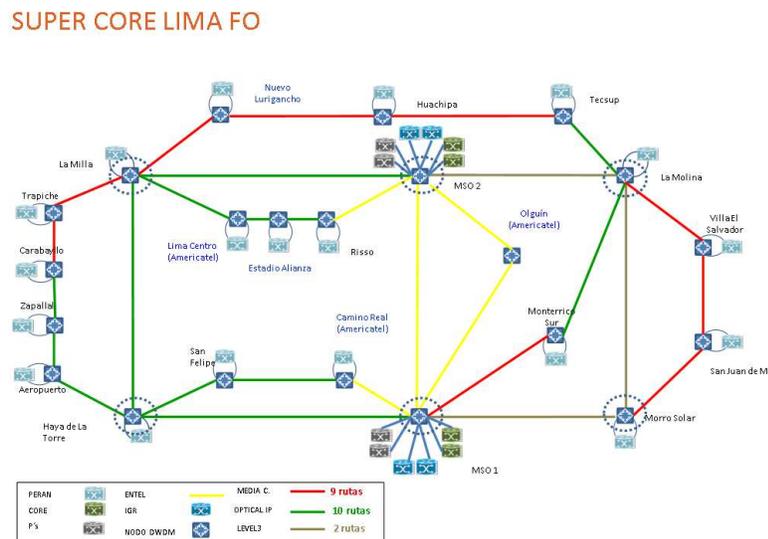
## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Objetivo General**

Entel inicia proceso de Renovación Tecnológica SWAP en tecnologías GSM, HSPA+ y LTE en banda 1700/2100 MHz.

El proyecto SWAP tiene integrado otros dos proyectos que en conjunto se incorporan al proceso de implementación en paralelo, una red Core MPLS L3 con P-Routers llamados PE\_RAN conectándose a una red de transporte metropolitana en Lima basada en tecnología DWDM (fibra óptica).

Figura 3: Súper Core Lima



Fuente: ENTEL PERU S.A.  
Elaboración: ENTEL PERU S.A.

#### 1.4.2. Objetivos Específicos

Entel considera que el equipamiento a desplegar en Perú debe incorporar una arquitectura del tipo RAN Único (Single RAN o Evo RAN), considerando también la escalabilidad para el despliegue rápido de una nueva red LTE.

La configuración del equipamiento ofertado debe incorporar simultáneamente tecnologías GSM/GPRS/EDGE y WCDMA/HSPA en la banda PCS1900 MHz y LTE en banda AWS y/o 1700/2100 MHz.

Específicamente para el caso de GSM y UMTS en banda PCS1900MHz se debe considerar 1 unidad de radio que contenga ambas tecnologías y permita reutilizar el sistema radiante. Se necesita que la solución ofrecida sea expandible en el futuro considerando el desarrollo de las tecnologías GSM, UMTS y LTE.

Cabe mencionar que para la estructura RAN Único, se deben considerar todas las funcionalidades, características y features descritas posteriormente.

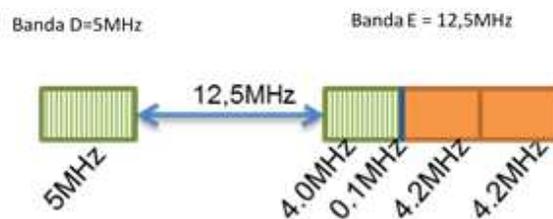
El equipamiento de radio ofertado deberá cumplir con condiciones obligatorias, las que se definen como aquellas que, a juicio de Entel, son indispensables para lograr y/o mantener una brecha competitiva con la competencia. Estas condiciones mínimas obligatorias se subdividen en Hardware (HW) y el package de Software (SW). En caso de no estar actualmente disponible el equipamiento requerido por Entel, el proveedor deberá indicar oficialmente la fecha de disponibilidad comercial del mismo y además ofrecer la solución alternativa que más se ajuste a los requerimientos solicitados.

Las condiciones mínimas obligatorias del equipo a cotizar por los proveedores, debe poseer todas las características detalladas más adelante. Dichas características y/o funcionalidades constituyen la configuración básica del equipo RAN y por lo mismo deben ser cotizadas como parte del pack básico.

- i. Arquitectura Distribuida: la unidad de procesamiento digital (Banda Base) debe conectarse con la unidad de amplificación de radiofrecuencia vía fibra óptica y no mediante feeders.
- ii. Antena Integrada: la unidad de amplificación de radiofrecuencia debe estar integrada a la antena. La antena debe soportar al menos 2 bandas de frecuencias, pero principalmente la parte activa debe soportar banda 1900MHz con opción de soportar banda AWS en modo pasivo o banda 1700MHz.  
Además, cada antena debe incluir los elementos necesarios para el ajuste de tilt eléctrico (RETU según AISG Rel 2.0/3GPP) y tilt mecánico.
- iii. Configuración de Portadoras: cada Antena Integrada debe soportar, en su parte activa, 2 portadoras 3G con BW=4,2MHz y 20Watts/Carrier cada una y en simultaneo

debe soportar el equivalente a 4TRX mínimo 10Watts/TRX, con una distribución de espectro como la mostrada en la siguiente figura:

Figura 4: Configuración de Portadoras



Fuente: ENTEL PERU S.A.  
Elaboración: ENTEL PERU S.A.

## 1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Se refiere expresamente a la compra de Nextel Perú. En agosto de 2013, se concretó la adquisición y toma de control del 100% de las acciones de esta compañía a NII Holdings, en una operación que involucró alrededor de USD410 millones. Nextel es la tercera compañía de telefonía móvil de Perú, con ventas por USD314 millones y una base de 1,6 millones de clientes, a diciembre 2013.

Históricamente se focalizó exitosamente en el segmento de Empresas y de clientes de mayor uso, en particular a través de servicios de voz en la modalidad push to talk (PTT) y con tecnología UMTS, similar a las comunicaciones de radio. Por otro lado, las zonas de cobertura de Nextel Perú eran bajas con una sola tecnología (3G) a comparación de la competencia, sólo comprendía la costa y la minoría de la sierra. Si bien la compañía perdió posicionamiento de liderazgo y masividad, ha mantenido un posicionamiento de calidad y buen servicio. Esta adquisición representa una excelente plataforma de

crecimiento en un mercado con alto potencial, como el peruano, en el cual Entel Chile S.A. espera alcanzar una posición relevante, replicando el modelo de negocios que hemos desarrollado exitosamente en Chile. Este objetivo implicará la expansión de las operaciones de Nextel hacia una oferta de servicio móvil moderna, más centrada en la conectividad de datos, amplia, incluyendo empresas y personas de manera masiva, sobre la base de una red robusta, con plataformas y servicios de clase mundial.

Por esta razón, incluso antes de que se concrete esta adquisición, postularon y se obtuvo a través de la filial Americatel Perú, un espectro en la banda AWS. Esta licencia, de 40 MHz, nos permite desplegar desde el inicio redes con tecnología 4G LTE. Durante el último trimestre de 2013, completamos la reestructuración de la empresa, realizamos el lanzamiento de una nueva oferta comercial e iniciamos un plan de inversiones de mediano plazo, destinado a expandir la red de acceso móvil y ampliar la infraestructura comercial y de soporte, entre otros objetivos.

La Renovación Tecnológica contempla la migración de las radios bases UMTS - tecnología 3G operativos actualmente en la red de Nextel del Perú a equipos de nueva generación de tecnología y/o Single RAN minimizando el impacto en el resto de la red y del servicio entregado.

Es un proyecto ambicioso, pero se estima que es una muy buena oportunidad, abordable para Entel. Nuestra industria y el mercado peruano están atravesando una transformación tecnológica hacia los Smartphone y los datos, hacia un hiper conectividad total; la población de Perú es cerca de 30 millones de habitantes, poco menos del doble de la de Chile; la economía se expande a buenas tasas y el ambiente competitivo da espacio para un operador que ofrezca calidad.

## 1.6. Problemática

Debido a la gran demanda en cobertura de los otros operadores de telecomunicaciones con tecnología celular LTE se debe ver como una solución de negocio la Renovación Tecnológica para Nextel del Perú, tal es así que ésta demanda es atendida con el cambio de hardware de los sistemas radiantes y la re-ingeniería Core para la mejora del Transporte, de la Calidad de señal en voz y datos (CS y PS) para los usuarios de la compañía.

La renovación de tecnología celular 2G/3G/4G es una buena elección para lugares urbanos, rurales o áreas alejadas.

Mientras sigan mejorándose estas tecnologías de telecomunicaciones y sus costos de instalación y operación bajen, se utilicen radioenlaces de gran capacidad y alta velocidad ampliando la cobertura nacional siempre será una solución para la compañía.

La implementación de sistemas de telecomunicaciones ofrece un mayor ancho de banda, la 4G pretende mejorar y crear nuevos servicios al usuario final, esto implica un plan de mejoramiento en rendimiento, unificar los sistemas y brindar una mayor Calidad de Servicio, esto quiere decir, que el usuario tendría una conexión constante a la red a un nivel estable, permitiéndole movilidad y cambiar de tecnologías de acceso en el trayecto sin que sea notorio.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO**

#### 2.1.1. Tecnologías y normativa asociada

Las IMT-2000 son la norma mundial para las comunicaciones inalámbricas de tercera generación (3G), y se define por un conjunto de recomendaciones interdependientes de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Sirve de marco para el acceso inalámbrico mundial, vinculando los sistemas diversos de redes terrenales o por satélite.

'4G' es el término utilizado para referirse a la "Cuarta Generación" de servicios móviles inalámbricos que está definiendo la UIT. La UIT es la autoridad internacional que establece los criterios de la próxima generación de tecnologías inalámbricas posteriores a IMT-2000 (3G), denominada IMT-Advanced. La UIT analizará varias tecnologías para su inclusión en la familia IMT-Advanced.

Desde el año 2006, se han logrado significativos avances en el Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) en el establecimiento de una definición acordada y globalmente aceptada de los sistemas inalámbricos '4G'. Para este año, está previsto que la UIT-R emita la documentación correspondiente a dicha definición. En ese momento, la visión será traducida a un conjunto de requisitos que deberán cumplimentar las tecnologías para, en el futuro cercano, ser declaradas parte de la IMT-Advanced y así ganarse el derecho de ser consideradas 4G, así, toda afirmación en el sentido de que una tecnología en particular es "tecnología 4G" antes de emitida dicha definición es en realidad una estrategia de marketing, que genera confusión en el mercado y minimiza la importancia de las normas en la industria de las telecomunicaciones. Para que las tecnologías puedan ser consideradas '4G', deberá

verificarse que cumplan con un conjunto de requisitos acordados, lo que sucederá en el futuro cuando la UIT los establezca. Recién entonces se entenderá lo que es 4G y lo que puede llamarse de ese modo con todo derecho y credibilidad

Por otra parte, el IEEE ha formulado la norma 802.16, concebida especialmente para aplicaciones al aire libre de redes de área metropolitana (MAN). La IEEE 802.16, interfaz aérea para sistemas de acceso inalámbrico en banda ancha fijo y móvil, denominada “WiMAX” permite velocidades de banda ancha a través de redes inalámbricas. Considerando que la tendencia de las redes es hacia servicios de paquetes además de estar convirtiéndose en redes IP, y que está teniendo lugar una convergencia mundial en la que el medio inalámbrico desempeña un papel muy importante.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

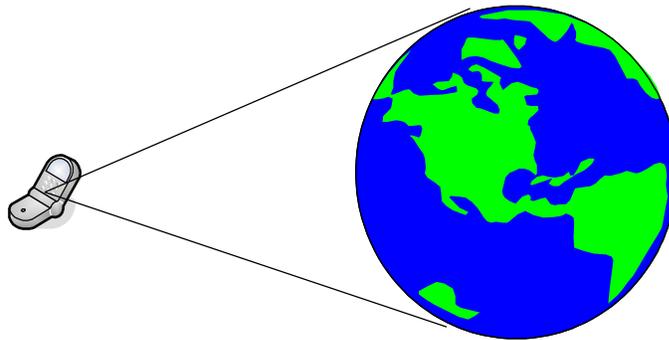
### **2.2.1. GSM**

#### **2.2.1.1. Antecedentes y Requerimientos**

A comienzos de 1980, se puso en manifiesto que países europeos estaban utilizando diferentes sistemas de telefonía móvil incompatibles. Al mismo tiempo fue notable el aumento de la necesidad de los servicios de telecomunicaciones. Debido a esto la CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications) fundó un grupo de sistemas móviles de especificaciones comunes para Europa occidental. Este grupo fue llamado “Grupo Especial Móvil”, así surgió el nombre del sistema GSM.

Esta abreviación desde entonces se ha interpretado de otro modo, la expresión común más utilizada hoy en día es Global System for Mobile Communications.

Figura 5: GSM – Global System for Mobile Communications



Fuente: Systra-Training material [1]  
Elaboración: Nokia Telecommunications Oy

A comienzos de 1990 la ausencia de un sistema móvil común fue vista a nivel mundial como un problema general. Por esta razón es que el sistema GSM, se considera también para los países de Europa Oriental, África, Asia y Australia. Por su parte USA, Sudamérica en general y Japón, habían tomado la decisión de adoptar otros tipos de sistemas móviles, los cuales no eran compatibles con GSM. Sin embargo, en USA, el Sistema para Comunicaciones Personales (PCS), había sido adoptado el cual usaba la tecnología GSM con unas pocas variaciones.

Durante el tiempo en que el sistema GSM se estuvo especificando, se tuvo previsto que el monopolio nacional de telecomunicaciones sea resuelto. Este desarrollo conjunto requiere algunas especificaciones concernientes al sistema GSM, y esos requerimientos fueron construidos en base a las especificaciones siguientes:

> Debe haber varios operadores de red en cada país, esto llevaría a la competencia en las tarifas y la provisión del servicio, y se supone que sería la mejor manera de la rápida expansión del sistema GSM.

> El sistema GSM debe ser un sistema abierto, significa que debe tener bien definido interfaces entre diferentes partes del sistema. Esto permitirá el equipamiento coexistente desde varias manufactureras, por lo tanto, mejorará la relación costo eficiencia desde el punto de vista del sistema de la empresa operadora.

> La red GSM debe ser construida sin causar mayor cambio considerable hacia las redes existentes como la PSTN (Red de Telefonía Pública Conmutada).

En adición a las demandas comerciales ya mencionadas, otros objetivos principales fueron definidos:

> El sistema debe ser Paneuropeo.

> El sistema debe mantener una buena calidad de voz.

> El sistema debe usar el espectro de radiofrecuencia de la manera más eficiente posible.

> El sistema debe tener una alta y adecuada capacidad.

> El sistema debe ser compatible con la RDSI (Red Digital de Servicios Integrados).

> El sistema debe ser compatible con otra especificación de comunicación de datos.

> El sistema debe mantener seguridad extrema a extremo para ambos suscriptores con respecto a la transmisión de la información.

#### 2.2.1.2. Ventajas del GSM

Debido a los requerimientos en conjunto para el sistema GSM, algunas ventajas fueron logradas. Estas pueden ser resumidas de la manera siguiente:

- > GSM utiliza eficientemente la radiofrecuencia, y debido al camino de radio digital utilizado tolera más disturbios en interceldas.
- > El promedio de calidad de voz lograda es mejor que cualquier sistema celular análogo.
- > La transmisión de datos es soportada totalmente por el sistema GSM.
- > La voz es encriptada y la seguridad de la información del suscriptor es garantizada.
- > Debido a la compatibilidad con la RDSI, nuevos servicios son ofrecidos en comparación con los sistemas análogos.
- > La itinerancia internacional es técnicamente posible con todos los países usando el sistema GSM.
- > El gran mercado incrementa la competencia y los bajos precios son usados para inversiones.

#### 2.2.1.3. Evolución del GSM

Un factor clave para la evolución de GSM, fue que el trabajo de estandarización no fue completado después de 1989. En un principio se decidió que GSM evolucionara con el tiempo. Con las mejoras tecnológicas en computación y los accesos de radio, GSM ofrecerá mejoras continuamente y más y mejores servicios. En 1995 la recomendación de la “Phase 2” fue congelada. Las especificaciones para GSM 900 y 1800 se fusionaron y se definieron servicios suplementarios adicionales, el servicio de mensajes cortos (SMS) se ha mejorado y las mejoras en el acceso de radio y la SIM card, fueron introducidos.

Antes de las recomendaciones de la “Phase 2” GSM continuaba en evolución a toda velocidad. Algunas nuevas características fueron introducidas a GSM, y el número de mejoras es tan amplia que siempre fue llamada características de la Phase 2 +. Esas características de la Phase 2 + fueron congeladas bajo intervalos regulares que son conocidos como “Release”.

La siguiente lista destaca algunos acontecimientos importantes en la corta historia del GSM.

1982 CEPT inicializa un nuevo sistema celular. La Comisión Europea expide una directiva en la cual requiere que los estados miembros reserven frecuencias en la banda de 900Mhz para permitir la itinerancia en GSM.

1985 CEPT toma una decisión sobre la planificación de los tiempos y los planes de acción a tomar.

1986 CEPT prueba ocho sistemas experimentales en Paris.

1987 Memorándum de Entendimiento (MoU). Asignación de frecuencias:

- 890 - 915Mhz uplink (desde el móvil a la estación base).

- 935 - 960Mhz downlink (de la estación base al móvil).

1988 El Instituto Europeo de Estandarización en Telecomunicaciones (ETSI), fue creado incluyendo miembros administrativos, Industria y grupos de usuarios.

1989 Recomendación final y especificaciones para GSM fase 1.

1990 Validación de sistemas implementados y el 1st Congreso Mundial de GSM en Roma con 650 participantes.

1991 Primera llamada oficial en el mundo con GSM el 1ro de julio.

1992 Primera red GSM en el mundo lanzada en Finlandia. Para fines de diciembre se tienen 13 redes operando en 7 áreas. Los australianos fueron los primeros operadores

Europeos no signatarios del Memorandum de Entendimiento de GSM. Nuevas frecuencias fueron asignadas para GSM 1800 (DSC 1800).

- 1710 - 1785 MHz (uplink)

- 1805 - 1880 MHz (downlink)

1993 GSM demostró por primera vez en el Cabo de la Ciudad de Telkom en el '93, acuerdos de itinerancia establecidos entre varios operadores. Para diciembre de '93 había 32 redes GSM operando en 18 áreas.

1994 La primera red de GSM en África fue lanzada en Sudáfrica. El servicio portador de GSM Phase 2 que soporta datos y fax, fue puesto en marcha. Para diciembre de 1994 había 69 redes en operación.

El MoU GSM, es formalmente registrado como una asociación en Suiza con 156 miembros de 86 áreas. El Congreso Mundial de GSM fue con sede Madrid con 1400 participantes.

1995 hubo 117 redes operando en todo el mundo. Itinerancia para datos, fax, mensajería fue implementada. La estandarización GSM Phase 2 fue implementada, incluida la adaptación para la banda de 1900 (PCS 1900). Se implementó la primera red GSM 1900 en USA. En el '95 Telecom celebró en Ginebra, donde Nokia demostró tasas de datos multimedia de hasta 33.6Kbps, vía GSM.

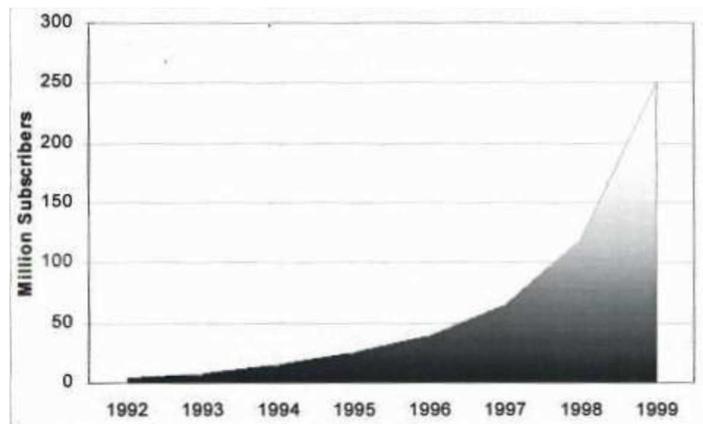
1996 Para diciembre existían 120 redes. Se puso en marcha el lanzamiento de 8000 SIM cards, además SIM cards prepagadas.

1998 Se realizan ensayos en Singapur para la tecnología HSCSD (High Speed Circuit Switched Data). Alrededor de 2 millones de usuarios GSM 1900 en USA y un total de 120 millones de usuarios GSM 900, 800, 1900 en todo el mundo.

1999 La primera llamada de datos móvil usando GPRS (General Packet Radio Service) vista en una red. Más tarde en agosto existían 344 redes GSM operando en 127

países diferentes y por fines del año '99 existían 250 millones de usuarios GSM alrededor del mundo.

Figura 6: Clientes GSM en todo el mundo para finales de cada año



Fuente: Systra-Training material  
Elaboración: Nokia Telecommunications Oy

#### 2.2.1.4. Interfaces abiertas para GSM

El propósito detrás de las especificaciones de las interfaces GSM es la de definir varias interfaces abiertas, que a su vez limitan determinadas partes del sistema GSM. Debido a la apertura de estas interfaces el operador para mantenimiento de la red podrá obtener el equipamiento necesario a partir de diferentes proveedores GSM. Además, cuando una interfaz es abierta se define estrictamente que es lo que va pasar a través de esta interface y esto en un turno específicamente definido, que tipo de acciones, procedimientos, y funciones deben ser implementadas entre las interfaces.

Actualmente se han definidos 2 interfaces abiertas para GSM. La primera es entre la Estación Móvil y la Estación Base, esta interface de aire libre es apropiadamente llamada "Interfaz Aire-Air Interface", la segunda es entre la MSC (Mobile Switching

Center) que realiza la conmutación en GSM y la BSC (Base Station Controller). Esta interfaz es llamada “interfaz A”. Estos dos elementos de la red van a ser discutidos de manera amplia en los capítulos siguientes. El sistema incluye más de dos interfaces definidas, pero estas no son totalmente abiertas, debido a que las especificaciones del sistema GSM no se completaron cuando los sistemas comerciales fueron lanzados.

Cuando se operan redes de telefonía móvil analógica, la experiencia nos ha mostrado que la inteligencia centralizada genera sobrecarga en el sistema, disminuyendo la capacidad. Por esta razón es que en las especificaciones de la red GSM se provee el significado de inteligencia distribuida a través de la red. Refiriéndonos a las interfaces, la más complicada de las interfaces en uso, la de mayor inteligencia requerida es entre la interfaz con la finalidad de aplicar todas las funciones requeridas. En las redes GSM esta inteligencia descentralizada es implementada dividiendo de manera completa la red en 3 subsistemas separados:

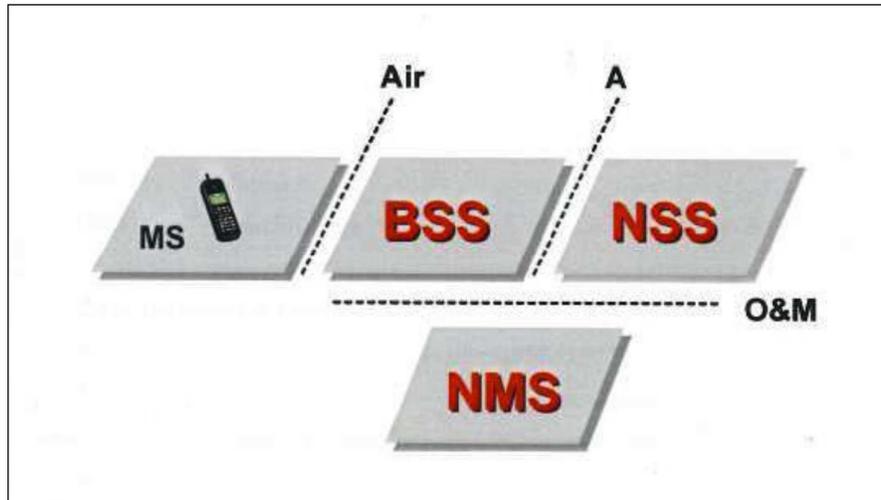
- > Subsistemas de Conmutación de Red (NSS)
- > Subsistemas de Estaciones Base (BSS)
- > Subsistema de Administración de Red (NMS)

Las redes actuales necesitan para establecer las llamadas estén compuestas por el NSS y la BSS. La BSS es responsable del control del camino de radio y todas las llamadas son conectadas a la red a través de la BSS. La NSS cuida las funciones de control de las llamadas. Las llamadas estas siempre conectadas a través de NSS.

El NMS se encarga de la operación y mantenimiento relacionada a las partes de la red este es necesario para el control de la red GSM en su conjunto. El operador de la red observa y mantiene la calidad de la red y el servicio ofrecido a través del NMS. Los tres

subsistemas de la red GSM son vinculados por la interfaz aire, A y O&M como se muestra:

Figura 7: Los 3 subsistemas GSM con sus interfaces.



Fuente: Systra-Training material  
Elaboración: Nokia Telecommunications Oy

Figura 8: Insertando la tarjeta SIM en un teléfono móvil.



Fuente: Systra-Training material  
Elaboración: Nokia Telecommunications Oy

La EM (Estación Móvil) es la combinación del equipo terminal y el suscriptor de datos. El equipo terminal tal como es llamado EM (equipo móvil) y el suscriptor de datos almacena en un módulo separado llamado SIM (Subscriber Identity Module) Por lo tanto: EM+SIM=MS.

#### 2.2.1.5. Especificaciones técnicas para GSM

Del punto de vista de las especificaciones el sistema GSM está dividido en 12 diferentes clases y esas clases son siempre llamadas “Especificaciones Técnicas de GSM”. Hoy en día las especificaciones técnicas son implementadas por la ETSI (European Telecommunications Estándar Institute), en comités sub técnicos y son referidos como Grupos Especiales Móviles (SMG por sus siglas en inglés).

Comités Subtécnicos de la ETSI:

SMG1: Servicios y Facilidades

SMG2: Aspectos de Radio

SMG3: Aspectos de Red

SMG4: Servicios de Datos

SMG5: Cerrado

SMG6: Operación y Mantenimiento

SMG7: Pruebas del Equipo Móvil

SMG8: Cerrado

SMG9: Aspectos de la SIM

SMG10: Seguridad

SMG11: Voz

SMG12: Arquitectura

### Especificaciones Técnicas GSM:

- 01 Descripción General de La Red de Telefonía Pública Móvil GSM.
- 02 Servicios
- 03 Funciones de Red
- 04 Interfaces entre la Estación Móvil y la BSS.
- 05 Ruta de acceso al radio
- 06 Funciones del procesamiento de voz
- 07 Funciones de adaptación de terminales
- 08 Interfaces entre la BSS y la MSS
- 09 Desempeño en inter – redes
- 10 Removido
- 11 Procedimientos de aprobaciones tipo.
- 12 Operación y Mantenimiento

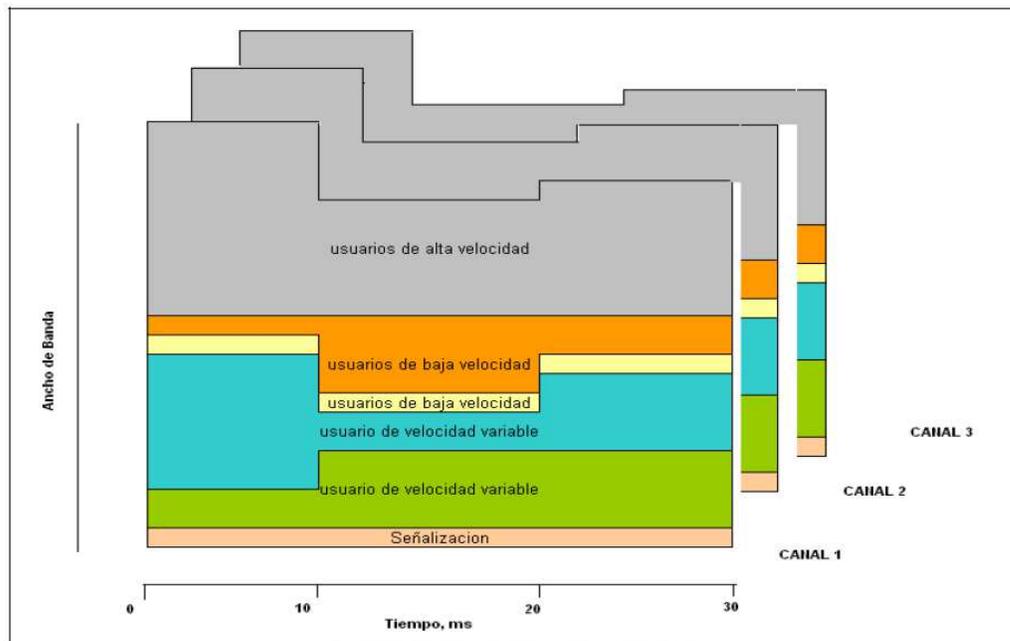
### 2.2.2. UMTS

#### 2.2.2.1. Tecnología WCDMA

Este acrónimo se define como, Acceso Múltiple por División de Código para Banda Ancha, interfaz de radio de telecomunicaciones móviles que utilizan el acceso por multiplexación de división de código (CDMA). Proporciona una amplia gama de servicios con características diferentes sobre una portadora común de 5MHz.

WCDMA es la tecnología detrás del estándar UMTS (3G) que está estrechamente ligado con el estándar GSM (2G). Esto proporciona nuevas capacidades de servicio, capacidad de crecimiento del Core y una reducción de costos para servicios de datos y voz.

Figura 9: Asignación del ancho de banda en WCDMA



Elaboración: Propia

#### 2.2.2.2. Principales características técnicas

- a. WCDMA deriva de CDMA espectro ensanchado, que soporta elevadas tasas de transmisión, en consecuencia, utilizan un factor de ensanchamiento y conexiones multi-código.
- b. El sistema DS-CDMA con ancho de banda aproximado de 1MHz, como en IS-95, se refiere al sistema CDMA de banda angosta. El chip rate de 3.84 Mcps, permite aproximarse a un ancho de banda de 5MHz.
- c. WCDMA soporta alta variación de las velocidades de transferencia de datos (user data rate), en otras palabras, soporta la obtención de ancho de banda por demanda. Cada usuario tiene asignado tramas de 10ms, donde el user data rate se mantiene constante. Sin embargo, la capacidad requerida por el usuario puede variar de trama a trama. Un claro ejemplo se puede observar en la figura

d. Modos de operación:

> FDD, portadoras separadas de 5 MHz. Una es usada para el enlace de subida (uplink) y la otra para el enlace de bajada (downlink).

> Mientras que TDD solo utiliza una portadora de 5MHz la cual comparte los time slots para el tráfico uplink y downlink.

> No es necesaria la sincronización de la estación base a través del sistema de posicionamiento global (GPS), esto implica mayor número de tramas de señalización y control.

e. Para aumentar la capacidad y la cobertura de la red es posible el uso de antenas inteligentes (MIMO) y detección multiusuario (beamforming).

f. WCDMA se diseñó para trabajar junto a GSM, entonces los hand-over entre WCDMA y GSM son aceptados, para que la introducción de esta nueva tecnología sea evolutiva.

La tabla N°3 resume las principales características de la tecnología WCDMA. [1]

Tabla 3: Principales parámetros de WCDMA

Método de acceso al medio	DS- CDMA
Método Duplexing	FDD / TDD
Sincronización de Estación Base	No es necesaria
Chip rate	3,84 Mcps
Longitud de trama (Frame)	10 ms.
Servicio de Multiplexing	Múltiples servicios con diferentes QoS sobre una misma conexión
Multirate	Factor de ensanchamiento variable al igual que el multi-código
Detección	Coherente, usa símbolos piloto o piloto común
Detección multiusuario, antenas inteligentes	Soportado por el estándar, de implementación opcional

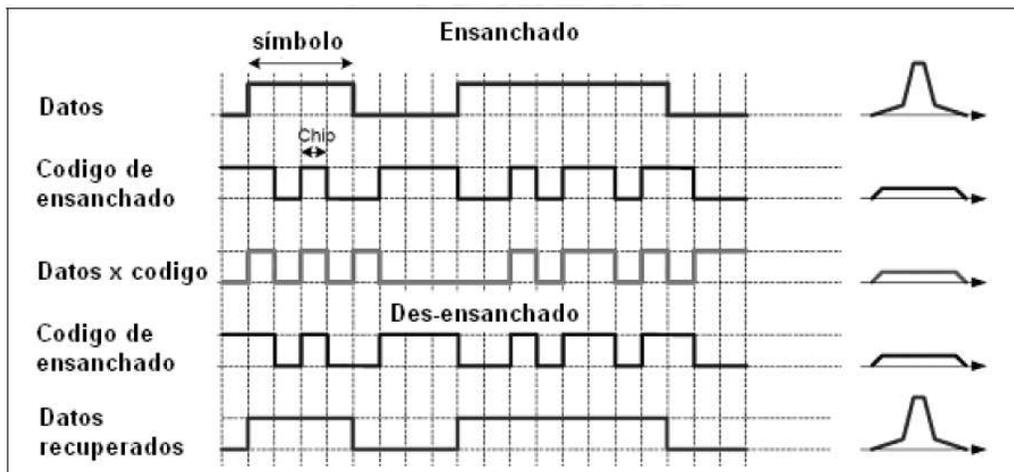
Elaboración: Propia

### 2.2.2.3. Conceptos Básicos

#### 2.2.2.3.1. Ensanchado y Des-ensanchado (Spreading and Despreading)

Un código W-CDMA es utilizado para modular la señal a transmitir. Dicho código consiste en una serie de impulsos binarios o chips, conocido como una secuencia de pseudo-ruido (PN), que es una secuencia binaria con un periodo determinado. El código se ejecuta a una tasa más alta que la señal a transmitir y determina el ancho de banda real de transmisión.

Figura 10: Ensanchado y Des-ensanchado de la señal



Fuente: WCDMA FOR UMTS  
Elaboración: WCDMA FOR UMTS

Una señal de espectro ensanchado en secuencia directa (SS/DS-CDMA) se obtiene modulando la señal a transmitir con una señal pseudo-aleatoria de banda ancha (código de pseudo-ruido). Un código de pseudoruido es una secuencia binaria representada con valores -1 y 1, que posee propiedades similares a las del ruido. Esto determina valores pequeños de correlación entre los códigos y la dificultad de bloqueo o detección de una señal de información por un usuario no deseado. En la figura 10 se aprecia con la

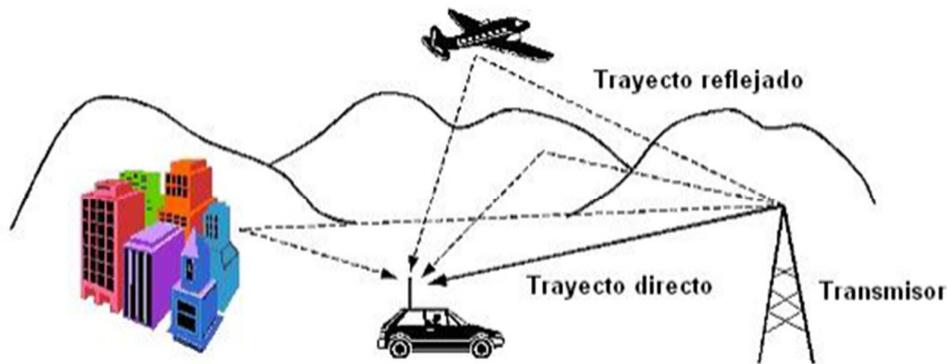
multiplicación de la señal de datos con el código de ensanchamiento da como resultado una señal con gran ancho de banda.

#### 2.2.2.3.2. Multi-caminos y recepción RAKE

La propagación de las señales de radio terrestre se caracteriza por las reflexiones múltiples, difracción y atenuación de la energía de la señal. Esto es causado por obstáculos como edificios, colinas, paneles de publicidad, etc. que como resultado nos entregan una propagación con multi-caminos (multipath), esto genera dos efectos:

a) Retardo de la señal, entre 1 y 2  $\mu\text{s}$ . En zonas urbanas y sub-urbanas, mientras que en otros casos hay retardos hasta 20 $\mu\text{s}$  o más. La duración del chip de 3.84 Mcps es 0.26 $\mu\text{s}$ . Si el tiempo de la componente multipath es menor a 0.26 $\mu\text{s}$ ., entonces el receptor WCDMA puede separar los componentes multi-camino. En la figura 11 se puede apreciar como a la señal directa se “suman” las señales multipath.

Figura 11: Efecto de Multi-caminos



Fuente: Revista científica de la IEEE – SPRETRUM [10]  
 Elaboración: Revista científica de la IEEE – SPRETRUM

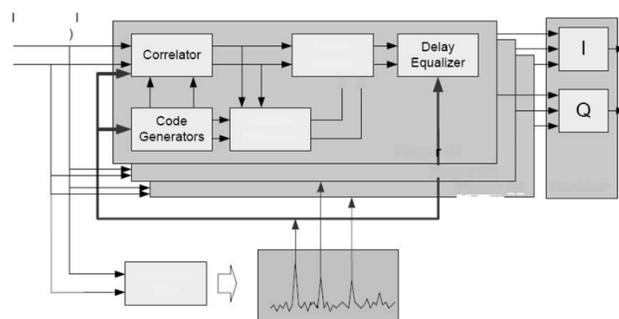
b) Además, el efecto multipath genera un desfase en la señal recibida, la cual puede hasta cancelar la señal directa, este efecto recibe el nombre de desvanecimiento rápido que se da incluso en distancias cortas.

En el caso de un canal con dispersión temporal y señales de espectro ensanchado, el filtro adaptado a la forma de onda recibida se lleva a cabo en la práctica mediante la estructura conocida como receptor Rake. Este receptor consta de varias ramas cuyas salidas se combinan linealmente, de acuerdo con unos ciertos coeficientes, para dar lugar a la variable de decisión. Si además el canal es variante en el tiempo, como sucede en comunicaciones móviles, los coeficientes del receptor deben adaptarse a sus variaciones.

El funcionamiento del receptor Rake puede interpretarse de dos formas conceptualmente distintas:

1. Como un sistema de diversidad por combinación, en el que las réplicas multipath producidas por el canal son separadas en componentes, cada una de ellas formada por un grupo de ecos con retardos parecidos.
2. Como un filtro adaptado a la forma de onda recibida.

Figura 12: Diagrama de bloques de un receptor RAKE para CDMA



Fuente: WCDMA FOR UMTS [1]  
Elaboración: WCDMA FOR UMTS

Según el primer enfoque, el receptor detecta cada una de las componentes multipath y lleva a cabo una combinación óptima (MRC, Maximal Ratio Combining) de las mismas. El resultado es una relación señal / (interferencia + ruido), o SIR (Signal to Interference Ratio), igual a la suma de las SIR's de cada una de las componentes detectadas. El método MRC es aplicable en general para componentes o señales recibidas en puntos diferentes, y sólo es óptimo en esas condiciones. En nuestro caso, en el que todas las componentes multipath están presentes simultáneamente en el receptor, este método equivale a la detección de cada una de ellas considerando las demás como interferencia.

El segundo enfoque considera la superposición de todas las componentes multipath como una señal deseada, y el receptor Rake se comporta como un filtro adaptado a hasta señal total, lo cual constituye la forma óptima de detección. Suponiendo un canal con dispersión temporal sin correlación, la potencia de la señal total es igual a la suma de las potencias individuales de las componentes. Por tanto, según este enfoque se suman las potencias de las componentes multipath detectadas, sin considerar ninguna de ellas como interferencia.

En la práctica ambos métodos pueden considerarse equivalentes.

#### 2.2.2.3.3. Control de potencia

En control de potencia significa controlar la potencia de transmisión de la señal para optimizar el rendimiento del receptor en el caso en el que múltiples usuarios se encuentren activos en la misma celda y en celdas vecinas. De esta forma se puede optimizar la capacidad del sistema.

Para el caso de uplink, en el que todas las estaciones móviles transmiten con la misma potencia. Las señales recibidas las estaciones móviles cercanas a la estación base serán mucho mayores que las señales de estaciones móviles lejanas a ella. En el caso de correlación cruzada perfecta de las señales ensanchadas, el receptor será capaz de recuperar la señal débil.

En la práctica, las propiedades de los códigos CDMA no son perfectas, por lo que es un sistema limitado por interferencia. La interferencia producida por las estaciones móviles cercanas bloquea la recepción de las señales débiles. A esto se le llama efecto near-far (cerca-lejos), la solución a este problema es realizar algún tipo de control sobre la potencia.

En una situación como la del downlink, debido a las diferentes pérdidas en el trayecto de cada estación móvil, la estación base transmite las señales de diferentes usuarios con diferentes niveles de potencia. Con un perfecto control de potencia, las señales llegarían a cada usuario con la potencia adecuada según su ubicación.

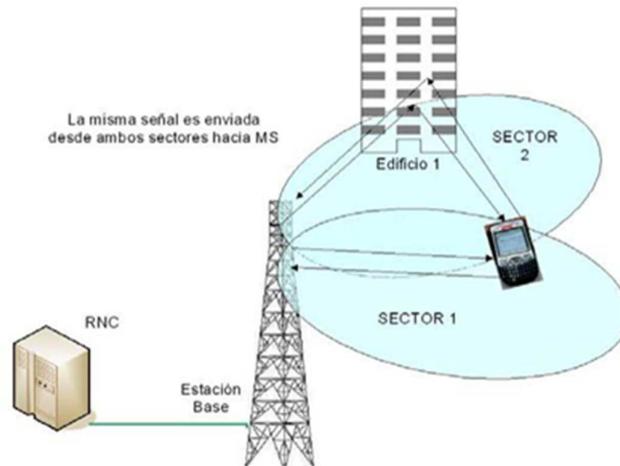
Si se transmitiesen todas las señales con la misma potencia se eliminaría el efecto near-far, pero esto no es posible debido a la limitación de potencia de la estación base.

#### 2.2.2.3.4. Softer y Soft Hand-overs

Durante un softer hand-over, una estación móvil está entre el área de cobertura donde dos sectores que pertenecen a la misma estación base se solapan. La comunicación se realiza mediante dos canales, uno en cada sector. Para esto se requiere de códigos separados en dirección del downlink para que la estación móvil pueda distinguir las señales, esto requiere un proceso de Rake. Durante el softer hand-over

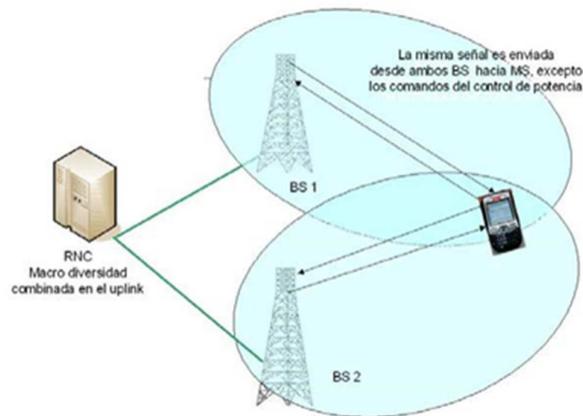
solo un lazo de control de potencia por conexión está activo. Normalmente este efecto ocurre entre el 5 al 15 % de las conexiones. (Figura 13).

Figura 13: Softer Hand-over



Elaboración: Propia

Figura 14: Soft hand-over



Elaboración: Propia

Un escenario similar se presenta durante un soft hand-over, cuando una estación móvil se encuentra entre el área de cobertura de sectores que se solapan, pero estos sectores pertenecen a diferentes estaciones base. Aquí se generan dos lazos de control de potencia una para cada estación. (Figura 14)

Si no se pudiera lidiar con el soft/softer hand-over se podrían crear escenarios cerca-lejos.

WCDMA proporciona otros tipos de hand-over como:

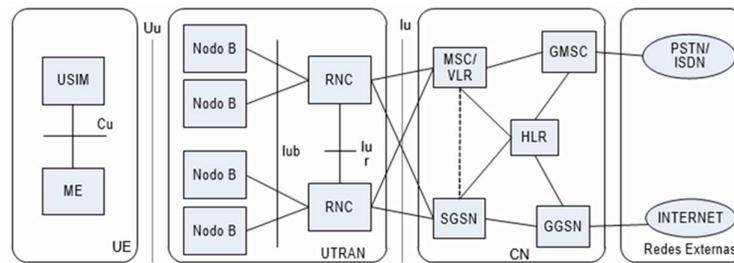
Hard hand-over entre frecuencias, una aplicación para ello es la alta capacidad de las estaciones base con algunas portadoras.

> Hard hand-over entre sistemas, que permite la convergencia entre WCDMA FDD y TDD o GSM u otro sistema.

#### 2.2.2.4. Estructura de la red

Funcionalmente los elementos de la red están agrupados dentro de la Red de Acceso de Radio (RAN, UMTS Terrestrial RAN = UTRAN) y el Núcleo de la Red (CN), que es responsable por la conmutación y el enrutamiento de llamadas y conexiones de datos hacia las redes externas. En la figura 15 ilustra cómo opera típicamente una PLMN con un solo operador conectado a otras redes.

Figura 15: Elementos de una red Pública Móvil



Elaboración: Propia

El equipo de usuario (UE) lo componen dos partes:

- El equipo móvil (ME) que es el terminal de radio para usar la comunicación sobre la interfaz Uu.
- Y el Modulo de Identidad del Suscriptor UMTS (USIM) que es un smartcard que contiene la identidad del suscriptor, algoritmos de autenticación y llaves de encriptación.

#### 2.2.2.4.1. UTRAN

La UTRAN o Red de Acceso de Radio Terrestre para UMTS consiste en la suma de todos los RNC y Nodos B que contenga la red, los RNC están conectados entre sí vía la interfaz Iur. La conexión entre la RNC y el Nodo B es vía la interfaz Iub. El mayor requerimiento debe ser el soporte de soft handover y los algoritmos de gestión de los recursos de radio. La UTRAN establece un enlace entre el equipo de usuario y el núcleo de la red con unos requisitos de calidad, Servicio de portadoras de radio (RAB).

##### 2.2.2.4.1.1. RNC – Controlador de Radio de la red

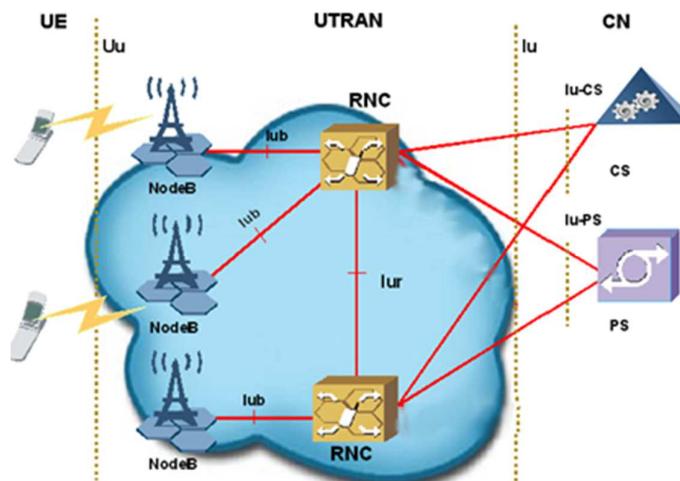
Es el elemento de red responsable del control de los recursos de radio de la UTRAN. En GSM corresponde lógicamente al BSC. El controlador RNC es

responsable del control de la carga y congestión de una o más celdas, también ejecuta el control de admisión y la asignación de código para un nuevo radio enlace que se establezca en la celda. La RNC es el punto de acceso de servicio para todos los servicios de la UTRAN que provee el núcleo de la red, por ejemplo, la gestión de conexiones hacia el UE.

#### 2.2.2.4.1.2. Nodo B

Convierte el flujo de datos entre las interfaces Iub y Uu. La principal función del Nodo B es el desempeño de la interfaz de procesamiento de la capa física. Cumple la función o es equivalente al BTS en 2G.

Figura 16: Topología de una red WCDMA



Fuente: Huawei Technologies  
Elaboración: Huawei Technologies

#### 2.2.2.4.1.3. Interfaces y elementos del Núcleo de Red

Todas las interfaces son abiertas, lo cual permite la interoperabilidad entre fabricantes. Veamos ahora una pequeña descripción de cada una de ellas:

La interfaz Iu conecta la UTRAN con el Núcleo, es una interfaz abierta. Como se muestra en la figura 16, dicha interfaz puede ser Iu-CS que conecta la UTRAN con el conmutador de circuitos o puede ser Iu-PS que conecta la UTRAN con el conmutador de paquetes.

La interfaz Iur es la interfaz de interconexión entre las RNC fue diseñado para proporcionar el soft hand over y ahora sus funciones son: soportar la movilidad entre RNC, canales de tráfico dedicado y común, y el manejo de recursos globales. Por esta razón el protocolo de señalización está dividido en cuatro módulos diferentes.

La interfaz Cu, es una interfaz eléctrica entre la smartcard USIM y el ME.

La interfaz Uu, es la interfaz de radio WCDMA, permite que UE acceda a la parte fija del sistema.

La interfaz Iub, permite conectar el Nodo B y la RNC. A continuación, pasamos a detallar los elementos del núcleo de la red:

- HLR: Es la base de datos local del sistema, aquí se guarda una copia del perfil de servicio del usuario que consiste de información sobre servicios permitidos, áreas de roaming, y servicios suplementarios.

- MSC/VLR: Son el conmutador y la base de datos de visitante, respectivamente.

El MSC tiene como función la conmutación de las transacciones CS, la función del VLR es mantener una copia de su perfil de servicios del usuario visitante.

- GMSC, Gateway MSC, es la Conmutación del punto donde UMTS PLNM es conectado hacia una red externa CS.

- SGSN, su funcionalidad es similar al MSC/VLR pero es típicamente utilizado para servicio de conmutación de paquetes (PS).

- GGSN, al igual que GMSC sirve de punto de conexión con redes externas, pero en este caso con relación al servicio de conmutación de paquetes.

### 2.2.3. LTE

#### 2.2.3.1. Long Term Evolution (LTE)

En la actualidad cuando se lee todo tipo de artículos relacionados con redes celulares, es imposible no toparse con las siglas LTE. Long Term Evolution es el nombre detrás de estas siglas y se trata de lo último en lo que respecta a tecnologías móviles. Junto con WIMAX son las que están llamadas a revolucionar el mundo de las telecomunicaciones. Esto por una sencilla razón, LTE permitirá tener velocidades de transmisión de datos muy altas con una latencia de paquetes mucho menor que las otras tecnologías, lo cual es un creciente requerimiento en los servicios hoy en día.

Esto se logra gracias a que LTE emplea una técnica de acceso múltiple en la capa física, llamada OFDMA (del inglés Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access) en el Downlink (descarga de datos), en la que divide el canal en un conjunto de subportadoras que se reparten en grupos en función de la necesidad de cada uno de los usuarios. Mientras que para el Uplink (carga de datos) utiliza la técnica SC-FDMA (del inglés Single Carrier Frequency Division Multiplexing Access) que es una variante de OFDMA con la diferencia de que esta presenta un PARP (del inglés Peak to Average Power Ratio) reducido, lo cual evitará que tengamos picos muy grandes en la señal. Además lo que repotencia el esquema de LTE es el uso de antenas MIMO (del inglés Multiple-Input and Multiple-Output). MIMO hace posible el contar con múltiples antenas tanto en el transmisor como en el receptor, para de esta forma mejorar la calidad de la comunicación.

Tabla 4: Comparación entre las versiones de LTE y las de WiMAX FUENTE: “3GPP – LTE”

	LTE 3GPP (R8)	LTE 3GPP (R10)	WiMAX 802.16e (R1.0)	WiMAX 802.16m (R2.0)
Capa Física	DL: OFDMA <sup>(3)</sup> UL: SC-FDMA <sup>(4)</sup>	DL: OFDMA UL: SC-FDMA	DL: OFDMA UL: SC-FDMA	DL: OFDMA UL: SC-FDMA
Modo Dúplex	FDD <sup>(5)</sup> y TDD <sup>(6)</sup>	FDD y TDD	TDD	FDD y TDD
Movilidad para usuario	350 km/h	350 km/h	60 - 120 km/h	350 km/h
Ancho de banda del canal	1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz	Componentes agregados a Release 8	3.5, 5, 7, 8.75, 10 MHz	5, 10, 20, 40 MHz
Peak Data Rate	. DL: 302 Mbps (Antenas 4x4) . UL: 75 Mbps (2x4) a 20 MHz FDD	. DL: 1 Gbps . UL: 300 Mbps	. DL: 46 Mbps (2x2) . UL: 4 Mbps (1x2) a 10 MHz TDD 3:1 (DL/UL ratio)	. DL > 350 Mbps (4x4) . UL > 200 Mbps (2x4) a 20 MHz FDD
Eficiencia Espectral	DL: 1.91 bps/Hz (2x2) UL: 0.72 bps/Hz (1x2)	DL: 30 bps/Hz UL: 15 bps/Hz	DL: 1.91 bps/Hz (2x2) UL: 0.84 bps/Hz (1x2)	DL > 2.6 bps/Hz (4x2) UL > 1.3 bps/Hz (2x4)
Latencia	Capa de enlace < 5 ms Handover < 50 ms	Capa de enlace < 5ms Handover < 50 ms	Capa de enlace - 20 ms Handover - 35 a 50 ms	Capa de enlace < 10ms Handover < 30 ms
Capacidad VoIP	80 usuarios por sector/MHz (FDD)	> 80 usuarios por sector/MHz (FDD)	20 usuarios por sector/MHz (TDD)	> 30 usuarios por sector/MHz (TDD)

- (1) Downlink, (2) Uplink, (3) Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Access, (4) Single Carrier Frequency-Division Multiplexing Access, (5) Frequency-Division Multiplexing, (6) Time-Division Multiplexing

Como se observa en la Tabla 4, el rendimiento de LTE (3GPP Release 8) y WiMAX IEEE 802.16m son similares en lo que respecta a las tasas de datos, latencia y la movilidad para el usuario. Además, vale la pena mencionar que tanto LTE y WiMAX usan OFDMA en el downlink, pero no en el uplink. En este último caso, WiMAX utiliza OFDMA, mientras que LTE usa SC-FDMA que nos permite un PARP reducido para el uplink, como se explicó líneas más arriba. Esto hace que sea más sencillo que el terminal móvil mantenga una eficiente transmisión de la señal usando un amplificador de potencia [2].

### 2.2.3.2. Breve Historia de LTE

LTE significa hasta el día de hoy el pico de la evolución para 3GPP (del inglés 3G Partnership Project). Sin embargo, es importante recordar el proceso de evolución por las que pasaron las tecnologías de 3GPP para llegar a LTE.

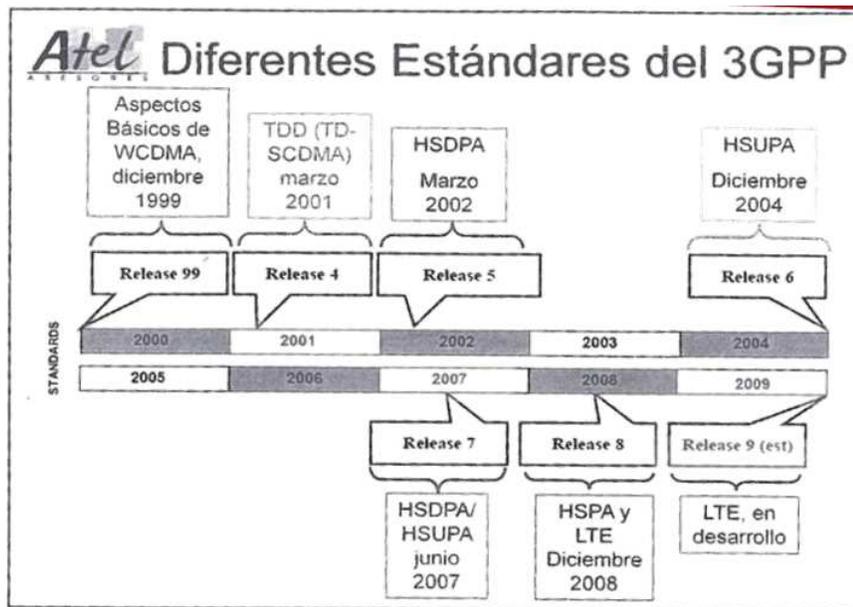
El Release 99 fue publicado en diciembre de 1999 y contenía los aspectos básicos de WCDMA (del inglés Wideband Code Division Multiple Access). A partir del año 2001 el 3GPP dejó de nombrar los Releases por el año de publicación e inició una nueva nomenclatura a partir del Release 4 el cual fue terminado en marzo 2001 y contenía la versión TDD (del inglés Time Division Multiplexing), TD-SCDMA (del inglés Time Division Synchronous Code Division Multiple Access) para baja capacidad. El Release 5 se concluyó en marzo de 2002 y estaba dedicado a HSDPA (del inglés High Speed Downlink Packet Access), mientras que el Release 6 se publicó en diciembre de 2004 y se refería a HSUPA (del inglés High Speed Uplink Packet Access) para WCDMA. El Release 7 se terminó en junio de 2007 y presentaba ciertas mejoras tanto en HSDPA como en HSUPA.

Actualmente se ha terminado el Release 8 con mejoras en HSDPA/HSUPA, denominado HSPA (del inglés High Speed Packet Access) y también contiene las primeras especificaciones de LTE, el Release 8 fue terminado en diciembre de 2008 [3].

Por su parte el Release 9 se refiere a LTE y se desarrolló en paralelo con el Release 10 que define la tecnología 4G que cumplía con las especificaciones de IMT –Advanced (del inglés International Mobile Telecommunication Advanced) de la ITU (International Telecommunication Unit). Precisamente en el año 2010 esta organización

la aprobó junto a WiMAX como las elegidas para llevar el rótulo de tecnología 4G. En la figura 17 se muestra esta evolución a través del tiempo.

Figura 17: Evolución a través del tiempo de los Estándares 3GPP



Fuente: "LTE – LONG TERM EVOLUTION"

Sin embargo, definir LTE no fue tan sencillo. El concepto de LTE de hoy en día, se discutió en detalle en el año 2004 en un taller sobre Redes de Acceso de Radio (Radio Access Network, nombre original del taller) que tuvo lugar en Toronto, Canadá.

El taller contó con la presencia de más de 40 operadores de telecomunicaciones, provenientes de universidades e institutos técnicos mundialmente conocidos. Así como de profesionales de las instituciones 3GPP.

El resultado fue un estudio de viabilidad puesto en marcha por el 3GPP sobre la posibilidad de diseñar e implementar de manera oportuna un paquete de alta velocidad optimizado en la red de datos inalámbrica con baja latencia y tiempos rápidos de

respuesta. En otras palabras, desarrollar una red donde se permita transmitir datos a altas velocidades con bajos índices de latencia.

La primera versión notable de LTE incluyen especificaciones para HSPA+, que se trata de una versión mejorada de HSPA y es el puente de conexión entre redes 3G HSPA y LTE. Así como todas las redes basadas en IP esta red brinda eficacia en lo que respecta a la conectividad a Internet, lo cual es muy importante en la era de la banda ancha móvil actual en la que vivimos.

#### 2.2.3.2.1. Arquitectura de la red LTE

La arquitectura general de LTE es una evolución de la arquitectura general de 3GPP. Así que comenzaremos hablando sobre esta última.

##### 2.2.3.2.1.1. Arquitectura de red 3GPP

La arquitectura de red general para 3GPP está conformada por el Equipo de Usuario (User Equipment, UE) y de una infraestructura de red que se divide de forma lógica en una infraestructura de red troncal (Core Network, CN) y una de red de acceso (Access Network, AN).

Estas tres partes están compuestas de la siguiente forma:

> El equipo de usuario (UE): se compone de dos elementos básicos como son el propio dispositivo móvil o terminal (denominado como Mobile Equipment, ME) y una tarjeta UICC (del inglés Universal Integrated Circuit Card). La tarjeta UICC, también denominada SIM (del inglés Subscriber Identity Module) en sistemas GSM y USIM

(Universal SIM) en sistemas UMTS (del inglés Universal Mobile Telecommunications System) y LTE. Dicha tarjeta es la encargada de almacenar la información y sustentar los procedimientos que tienen que ver con la suscripción del usuario a los servicios proporcionados por la red. Mediante esta separación entre terminal y tarjeta se permite que un usuario (identificado a través de la SIM/USIM) pueda utilizar diferentes terminales para acceder a la red.

> La red de acceso (AN): 3GPP ha especificado tres tipos de redes de acceso diferentes: GERAN (del inglés GSM/EDGE Radio Access Network), UTRAN (del inglés UMTS Terrestrial Radio Access Network) y E-UTRAN (Evolved UTRAN). Las redes de acceso GERAN y UTRAN forman parte del sistema 3G UMTS mientras que E-UTRAN es la nueva red de acceso del sistema LTE que, como su nombre lo indica, es la evolución de la red de acceso UTRAN. Cada red de acceso define su propia interfaz radio para la comunicación con los equipos de usuario: GERAN, también denominada de forma habitual simplemente como GSM, utiliza un acceso basado en TDMA. Mientras que en UTRAN la tecnología utilizada es WCDMA. Y, por último, en E-UTRAN se ha apostado por la tecnología OFDMA. De la misma forma, la interconexión de las redes de acceso a la red troncal se realiza mediante interfaces AN-CN específicas.

> La red troncal (CN): se divide de forma lógica en un dominio de circuitos (del inglés Circuit Switched Domain, CS), un dominio de paquetes (del inglés Packet Switched Domain, PS) y el subsistema IP Multimedia (del inglés IP Multimedia Subsystem, IMS).

> El dominio CS alberga a todas las entidades de la red troncal que participan en la provisión de servicios de telecomunicaciones basados en conmutación de circuitos, como, por ejemplo, los servicios de voz y videoconferencia en redes UMTS. El

dominio de circuitos de la red troncal es accesible a través de las redes de acceso UTRAN y GERAN. En cambio, el diseño de E-UTRAN no contempla el acceso al dominio CS ya que todos los servicios se proporcionan a través del dominio PS.

El dominio PS incluye a las entidades de la red troncal que proporcionan servicios de tele-comunicaciones basados en conmutación de paquetes: la información de usuario se estructura en paquetes de datos que se encaminan y transmiten por los diferentes elementos y enlaces de la red. Existen dos implementaciones diferentes del dominio PS: GPRS (del inglés General Packet Radio System) y EPC (del inglés Evolved Packet Core). GPRS es la implementación del dominio PS que se desarrolló inicialmente en el contexto de redes GSM y que actualmente también forma parte del sistema UMTS. Los servicios de conectividad por paquetes de GPRS son accesibles tanto a través de UTRAN como de GERAN. Por otro lado, EPC es la nueva especificación del dominio PS desarrollada en el contexto del sistema LTE. EPC es una implementación evolucionada de GPRS que ha sido optimizada para proporcionar un servicio de conectividad IP a los equipos de usuario a través de E-UTRAN. El dominio EPC también ha sido concebido para soportar el acceso al servicio de conectividad IP desde las otras redes de acceso 3GPP, como las ya mencionadas UTRAN y GERAN; así como desde redes no 3GPP, como WiMAX.

En la red troncal existen también elementos que soportan funciones asociadas a los diferentes dominios. Un ejemplo claro es la base de datos que contiene la información de los usuarios del sistema: el HSS (del inglés Home Subscriber Server), sobre la cual se sustenta la operación de los dominios CS y PS, así como del subsistema IMS.

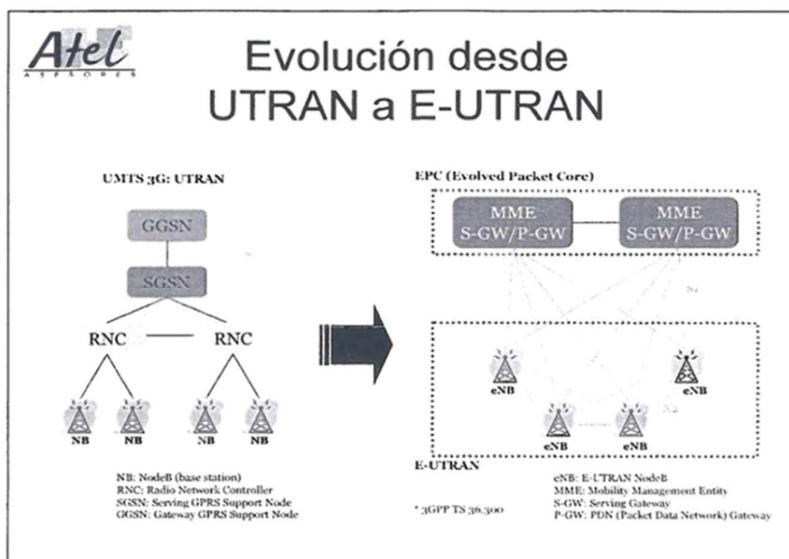
También como parte de la red troncal, el subsistema IMS comprende los elementos de ésta relacionados con la provisión de servicios IP multimedia basados en el protocolo SIP (del inglés Session Initiation Protocol) de IETF (del inglés Internet Engineering



requerimientos de la 2G, con una topología en estrella donde el RNC (del inglés Radio Network Controller) podía controlar cientos de Bases Stations (Estaciones Base, BS) o Nodos B sobre la interface IuB (interfaz que conecta el RNB con la BS o con el Nodo B, según sea el caso). Bajo este concepto, UTRAN tuvo que irse adaptando y mejorando, lo que terminó con una arquitectura complicada en la cual no existe comunicación directa entre las BS o Nodo B. A pesar de que el Nodo B es sencillo, el RNC es complejo y se encarga del manejo del tráfico y de los recursos de radio.

Por lo que se pasó de UTRAN a E-UTRA, como se muestra en la figura 19. Partiendo de este punto, E-UTRAN basado en OFDMA es más sencillo, sólo tiene un elemento: el eNode B o eNodo B, el cual está directamente conectado al EPC (más específicamente al Mobility Management Entity, ME) por medio de la interface S1, y entre ellos (entre los eNodo B) por la interface X2. De esta forma las mejoras que siempre son necesarias introducir se reparten entre el eNodo B y el Core Network. La conexión directa entre eNodos B contribuye a reducir los paquetes perdidos en los móviles cuando se hace handoff. Los eNodo B permiten que los protocolos, tanto del plano de los usuarios como del de control, puedan comunicarse desde el UE hacia el EPC y viceversa. Por último, el E-UTRAN está dividido en dos capas: el Radio Network Layer (RNL) y la Transport Network Layer (TNL).

Figura 19: Evolución desde UTRAN a E-UTRAN



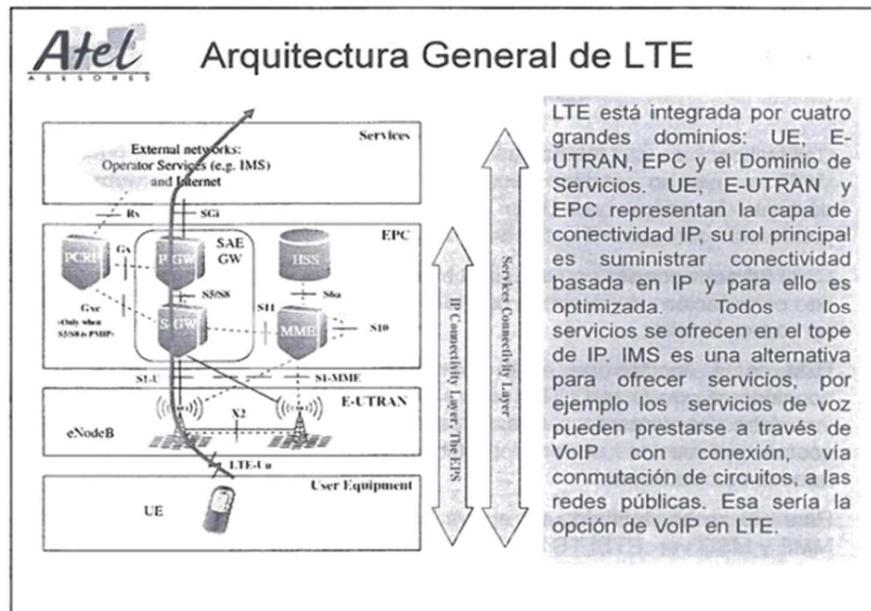
Fuente: “LTE – LONG TERM EVOLUTION”

#### 2.2.3.4. Paso hacia la arquitectura Final de LTE

Una vez tocado el anterior punto, concluimos que la arquitectura genera de LTE está integrada por cuatro grandes dominios: UE, E-UTRAN, EPC y el Dominio de Servicios, como se muestra en la figura 40. UE, E-UTRAN y EPC representan la capa de conectividad IP; su rol principal es suministrar conectividad IP, es por ello que es optimizada. Todos los servicios que se ofrecen se buscan que sean en IP. En este sentido IMS es una excelente alternativa para ofrecer estos servicios. Precisamente la presente tesis tratará el tema de LTE empleando como dominio de servicios al subsistema IMS.

Con IMS se podrá ofrecer toda clase de servicios. Sin embargo, IMS debe tener los Gateway para comunicarse con las redes públicas basadas en conmutación de servicios, como la PSTN (Public Switched Telephone Network, Red de Telefonía Pública) o la PLMN (Public Land Mobile Network, Red Pública de Datos).

Figura 20: Arquitectura General de LTE



Fuente: "LTE – LONG TERM EVOLUTION"

#### 2.2.3.4.1. Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)

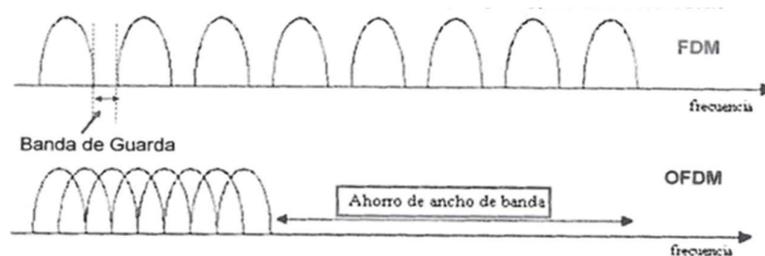
OFDM es una técnica de multicanalización basada en el uso de varias subportadoras. Estas subportadoras son elegidas de tal manera que ninguno de sus espectros interfiera con la frecuencia central de las otras subportadoras. El estándar IEEE 802.16e tiene dos capas físicas basadas en OFDM: una que usa OFDM como tal, y otra que usa una variante de esta OFDMA, donde varios usuarios comparten un símbolo OFDM.

La técnica OFDM es similar a FDM. La diferencia se basa en que mientras FDM debe dejar una banda de guarda entre canales, OFDM por su parte trata de acercar los canales lo más posible hasta superponerlos. Esto se logra escogiendo frecuencias que sean ortogonales, lo cual significa que estas son perpendiculares en el sentido

matemático; permitiendo así que sus espectros se superpongan sin interferir. Esto significará un ahorro de ancho de banda.

Figura 21: Comparación en lo que respecta a ahorro de Ancho de Banda entre FDM y

### OFDM



Fuente: "LTE – LONG TERM EVOLUTION" [2]

Como se aprecia en la figura 21, OFDM puede ser considerada como una técnica de modulación y también una técnica de acceso múltiple. Si se da el caso en que las subportadoras se comparten entre varios usuarios finales, entonces se hablará de una técnica de acceso múltiple, es decir OFDMA. OFDM ha sido principalmente empleada en 3G. Ahora con 4G, OFDMA ha sido la técnica más empleada, ambas para el downlink.

OFDM presenta dos desventajas claras. En primer lugar, el hecho de tener un PAPR elevado, lo cual genera limitaciones para los dispositivos electrónicos de los sistemas, en particular a los amplificadores. Y en segundo lugar, el hecho de ser muy sensible a cambios en la frecuencia de las subportadoras. Sin embargo, presenta grandes ventajas como el reducir la Interferencia intersimbólica, el presentar robustez ante los multitrayectos, contar con una alta eficiencia espectral y el hecho de que su implementación sea sencilla.

#### 2.2.3.4.2. Simple Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)

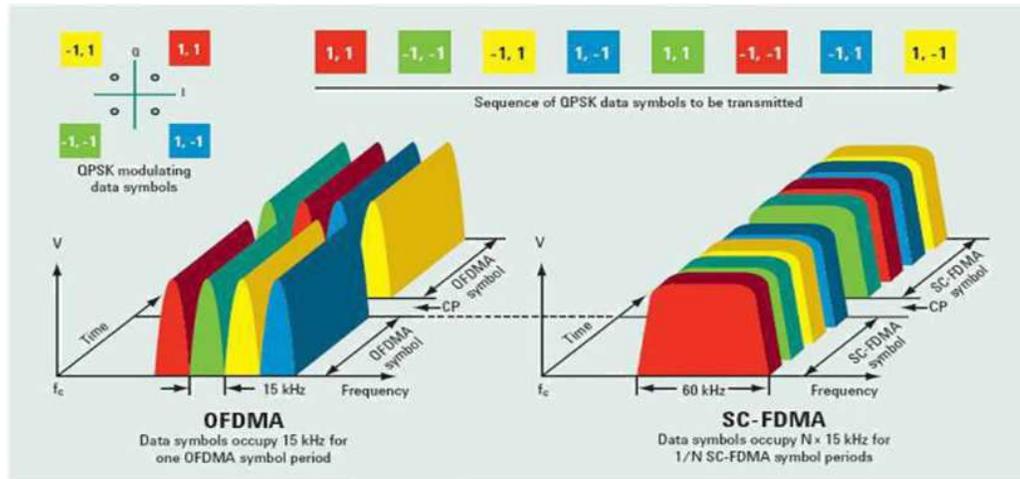
Como se mencionó en líneas anteriores, SC-FDMA es una variante de OFDMA. Es por ello que tiene las mismas características de esta como el hecho de presentar robustez ante los multitrayectos, el tener una alta eficiencia espectral, reducir la Interferencia Intersimbólica y el hecho de que su implementación sea sencilla. Además, muestra otras ventajas que OFDMA no nos daba, como el caso del PAPR, con SC-FDMA el PAPR será reducido al igual que el consumo de potencia. Sin embargo, en SC-FDMA tendremos un receptor muy complejo, pero esto se soluciona utilizando SC-FDMA para el Uplink, con lo cual tendremos que el receptor en la unidad móvil debe ser sencilla y económica mientras que la complejidad del receptor y los altos costos que se pudiesen generar se dejan a la Estación Base, la cual tiene más recursos.

En resumen, en OFDMA se comparte el ancho de banda, cada símbolo de datos (dependiendo de la modulación) se usa para modular una subportadora, las cuales son ortogonales entre sí, de aquí es de donde nace la característica multiportadora de OFDMA. Además, los “M” símbolos que se transmiten lo harán en paralelo y repartiéndose en todo el ancho de banda disponible. Esto implicará que se superpongan varios símbolos de datos en forma simultánea, es decir varias sinusoides con amplitudes y fases distintas, las cuales en determinado instante pueden estar algunas de ellas en fase y producir un PAPR elevado.

Por el contrario, en SC-FDMA se emplea una combinación lineal, donde varios símbolos de datos se usan para modular varias subportadoras ortogonales; es decir que cada símbolo de los “M” que se transmitan lo harán ocupando todo el ancho de banda disponible y con una duración igual a una parte del tiempo del símbolo SC-FDMA.

Esto quiere decir, que en el ancho de banda que se dispone, solo se envía información de varios símbolos de datos dependiendo de la modulación que se elija [2].

Figura 22: Vista de OFDMA y SC-FDMA en forma gráfica



Fuente: “3GPP LTE” [5]

#### 2.2.3.4.3. Antenas MIMO

Las antenas MIMO forman una parte importante en el sistema de LTE con el fin de cumplir con altos rendimientos en la transmisión de la señal y el de tener una alta eficiencia espectral. MIMO se refiere a la utilización de muchas antenas tanto en el transmisor como en el receptor (de aquí su significado en inglés, Multiple Input Multiple Output).

En el ANEXO 1 se da mayor información sobre la organización de estas antenas.

#### 2.2.3.4.4. Ventajas de LTE

Todo lo anteriormente explicado, coopera para que se pueda especificar las ventajas que significaría el hecho de emplear LTE.

- > Con LTE será posible llegar a velocidades de hasta 200 Mbps.
- > La latencia, es decir el retardo en la respuesta desde la red, será menor a 10 milisegundos.
- > Se contará con una arquitectura de red basada únicamente en el protocolo IP que permitirá a los operadores reducir el costo de los servicios que ofrecen, y a su vez permitirá a los usuarios contar con nuevas posibilidades de servicios multimedia interactivos. Con ello, tendremos que el costo de esta tecnología se reducirá notablemente.
- > Se generará una alta eficiencia en lo que respecta a los costos de operación de las redes, lo cual permitirá reducir el impacto ambiental en la zona donde esta se implemente.

#### 2.2.3.4.5. Servicios en LTE

Existen otras redes que podrían ofrecer los servicios que ofrece LTE, sin embargo, necesitarían de IMS para ser ofrecidos, en este punto LTE saca ventaja.

LTE podría ofrecer servicios tales como:

- > Push to talk Over Cellular (PoC): se trata básicamente de los servicios de comunicación punto-punto o punto-multipunto que se ofrecen en las redes móviles.
- > Presence: servicio que hace posible que los usuarios compartan información de sus actividades, ubicación actual, zona horaria donde se encuentran, etc.
- > Multimedia Broadcast y Multicast Service (MBMS): son aquellos servicios como:
  - Transmisión de audio y/o video: publicidad, suscripción ciertos servicios
  - Descarga de audio y/o video
  - Descarga de archivos: actualización de aplicaciones

- > Telefonía Multimedia:
  - VoIP: servicio de transmisión y recepción de voz a través de IP.
  - Video Telefonía: servicio de telefonía con la particularidad de un video multimedia de la persona en tiempo real durante la llamada.

#### 2.2.3.5. IP Multimedia Subsystem (IMS)

IMS fue definida inicialmente como: “un nuevo ‘dominio’ de núcleo de red.” En otras palabras: “Una nueva infraestructura de red móvil compuesta por una serie de elementos discretos” [6].

Esta definición fue realizada por la 3GPP y aceptada tanto por la 3GPP2 como por la ETSI (del inglés European Telecommunications Standards Institute) y por WiMAX Forum.

Sin embargo, esta definición ciertamente no hace justicia a lo que en realidad significa IMS. IMS es una nueva forma de brindar servicios multimedia (voz, videos, datos, entre otros), independientemente del tipo de dispositivo (teléfono móvil, teléfono fijo, Internet, entre otros) y del tipo de acceso al medio (celular, Wi-Fi, Banda Ancha, entre otros) que se utilice: Con lo cual cambiará la forma en que nos relacionamos con nuestro mundo, cada vez más digital.

Aunque IMS fue creado inicialmente para aplicaciones de 3GPP y 3GPP2, su uso se fue extendiendo a tal punto que inclusive los proveedores de servicios de cableados se vieron obligados a buscar formas de integrar las tecnologías móviles a sus carteras. Hoy en día no hay obstáculos para su uso utilización en cualquier entorno de las telecomunicaciones.

#### 2.2.3.5.1. Historia del IMS

Antes de llegar a lo que ahora es IMS, se pasó por diferentes conceptos de redes. Se inició con el IN (del inglés Initial Network), desarrollado en los años 80s y tenía como función principal el tener una red con una clara separación entre las funciones de conmutación y aquellas relacionadas con los servicios. Sin embargo, los despliegues de IN no cumplieron con todas estas pautas, sino que por el contrario se desarrollaron redes monolíticas y con muy poca flexibilidad [3].

Es así que se definió la Next Generation Network (NGN), que fue definida en los años 90s. NGN planteó que se pase de una integración vertical a una horizontal. Ya que, mientras en la primera se tenía al acceso, al control y a los servicios, unidos en una sola entidad. En la segunda se tienen estas funciones separadas en capas de acuerdo con protocolos específicos o APIs (del inglés Application Programming Interface). Esto ofrece una gran ventaja a la red, ya que así los servicios pueden ofrecerse y evolucionar independientemente del transporte (las técnicas de acceso y el backhaul para transportar las señales o datos de un punto a otro de la red).

NGN tenía como objetivo principal el desarrollar una red simple y flexible que permitirá la convergencia con otras redes, así como la convergencia de servicios. Es así que el IETF (del inglés Internet Engineering Task Force) estandarizó el SIP, mientras que el 3GPP estandarizó IMS como una arquitectura basada en SIP con el objetivo de apoyar las redes GSM y la evolución de las tecnologías de radio.

En el año 2001, IMS se introdujo por primera vez en el 3GPP Release 5 donde solo se contempló a los usuarios de telefonía móvil. Esto quiere decir que solo se prestó atención a los usuarios que usan una red de acceso de radio (RAN). En este tipo de acceso se encuentran los usuarios de UMTS, CDMA2000 y GSM/GPRS, aunque estos

últimos no aprovecharían enteramente la capacidad de una red IMS debido al ancho de banda limitado con el que trabajan.

Posteriormente, en el año 2003, se empleó en el 3GPP Release 6 donde se incorporó el acceso para redes inalámbricas tales como WLAN y WiMAX. Se vio necesaria también la implementación de un Gateway para este tipo de acceso, el cual es llamado Wireless Lan Gateway (WAG) y tiene como función el hacer que los datos de la red de acceso sean entendidos por la red núcleo.

Se fue extendido también al Release 7, en el año 2005, donde se implementó todo el acceso de las redes fijas, principalmente las redes DSL (del inglés Digital Subscriber Line) y Ethernet, para brindar mejores servicios de ancho de banda, servicios de voz continuos y servicios multimedia. Además, fue necesario implementar un Servidor de Acceso de Banda Ancha (BAS) para comunicar los datos entre la red de acceso y la red núcleo.

Finalmente, en el año 2007, se implementó el IMS en LTE. Esta relación será vista en detalle más adelante.

#### 2.2.3.5.2. Arquitectura NGN

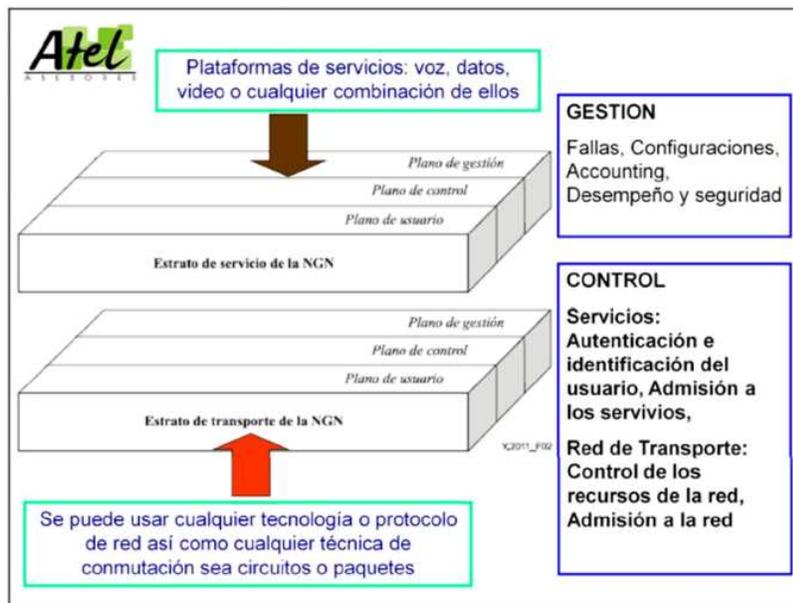
El NGN cuenta con una arquitectura dividida en dos estratos:

- > Estrato de Servicio: es una parte del NGN que proporciona las funciones de usuario, como son el de transferir datos relacionados con el servicio, el de controlar y gestionar los recursos de servicio y los servicios de red para poder facilitar los servicios de usuario y aplicaciones.
- > Estrato de Transporte: es la otra parte del NGN que proporciona las funciones de usuario, como son el de transferir datos, el de controlar y gestionar los recursos de

transporte para poder llevar estas entidades entre entidades terminales. Básicamente, este estrato se encarga de brindar la conectividad entre dos puntos.

Es importante mencionar que cada estrato está formado por una o varias capas, las cuales están integradas por tres planos: el plano de usuario o de datos, el plano de control y el plano de gestión, como se muestra en la figura 23.

Figura 23: Estratos de IMS



Fuente: “IMS – IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM” [3]

Este tipo de arquitectura tiene como ventaja el hecho de permitir a los operadores de las redes hacer cualquier tipo de modificación, actualización o adición en los servicios sin necesidad de hacer ninguna intervención en la red de transporte [3].

#### 2.2.3.5.3. Session Initiation Protocol (SIP)

SIP es un protocolo de señalización a nivel de la capa de aplicación para crear, modificar y terminar sesiones de comunicación entre uno o más participantes en una red basada en IP. Sus aplicaciones incluyen voz, video, juegos, mensajería, control de

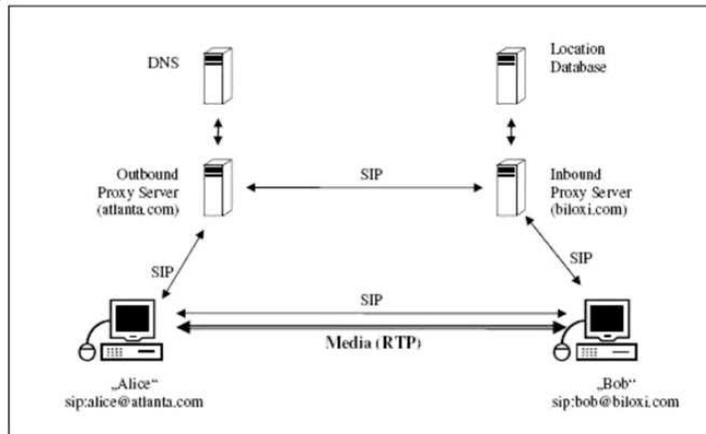
llamadas y presencia, pero no está limitado solo a esas. Está basado en HTTP (del inglés Hyper Text Transfer Protocol) y SNMP (del inglés Simple Management Protocol).

SIP fue creado con las siguientes finalidades:

- > Que sea un protocolo de transporte neutralizado.
- > Que sea capaz de correr sobre protocolos fiables, tales como TCP y SCTP; y sobre protocolos no fiables, como lo es UDP.
- > Que la separación de la señalización de la información sea multimedia
- > Que tenga capacidad para extenderse
- > Que genere movilidad

Los elementos dentro del protocolo SIP pueden ser clasificados en: User Agents (UAs) e intermediarios (servidores). En el mundo ideal, las comunicaciones entre dos puntos finales (UAs) ocurren sin necesidad de intermediarios, pero no siempre se da el caso en el que el administrador de red y los proveedores de servicios quieran tener todo el tráfico en la red. La figura 24 muestra una configuración típica de red, denominada "Trapezoide SIP".

Figura 24: Trapezoide SIP



Fuente: “TRAPEZOIDE” [6]

Los UA SIP o terminales son el punto final de los diálogos: envían y reciben requerimientos y respuestas SIP y son el punto final del flujo multimedia; éstos son usualmente los UE (User Equipment) que tienen una aplicación en el terminal o un hardware dedicado. Los UAs constan de dos partes: UAC (User Agent Client) que es la aplicación que inicia los requerimientos, y el UAS (User Agent Server) que es el que acepta, re direcciona o rechaza los requerimientos y envía respuestas a los requerimientos en nombre del usuario.

Los intermediarios SIP, por el contrario, son entidades lógicas por donde pasan los mensajes SIP en su camino hacia su destino final. Estos intermediarios son usados para enrutar y re direccionar los requerimientos. Los servidores pueden ser:

- Servidores Proxy
- Servidores de re direccionamiento
- Servidores de ubicación
- Registradores
- Servidores de Aplicación

- B2BUA (del inglés Back-to-back-user-agent)

#### 2.2.3.5.4. Arquitectura IMS

IMS es un ejemplo de una red NGN, por lo tanto su arquitectura se basa en gran medida en la arquitectura general NGN. Como ya se dijo, se basa en el uso del protocolo SIP para el control de las sesiones y además ofrece a los operadores la posibilidad de construir redes abiertas basadas totalmente en IP.

La arquitectura IMS es unificada y en capas, con lo cual será más sencillo el poder gestionar el movimiento de los paquetes a través de la red. En total son tres capas:

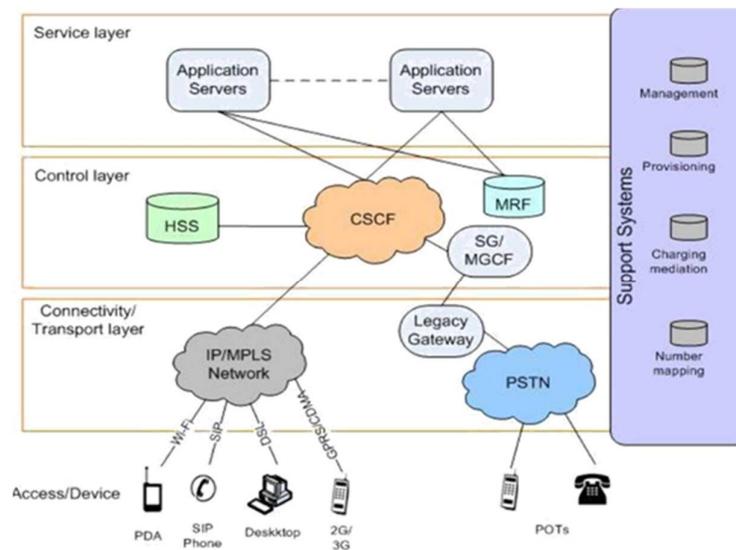
> Capa de conectividad/transporte: esta capa está compuesta por los equipos necesarios para la red troncal IP, así como los necesarios para el acceso a la red. Es aquí donde se encuentra la interfaz necesaria para todo tipo de red o dispositivo que requiera acceder a la red IMS (en la figura 25 se muestran estas interfaces representadas por la red IP/MPLS y por la red PSTN). Además, es importante indicar que todos los dispositivos están conectados a la red IMS a través de esta capa, por lo que es considerado como un punto de entrada y salida de la red.

> Capa de Control: esta capa está compuesta por los equipos necesarios para la gestión del establecimiento de llamadas, la modificación de la misma y su liberación. Los componentes más importantes de la capa de control son: el servidor CSCF (del inglés Call Session Control Function) que es básicamente un servidor SIP que gestiona llamadas, así como la sesión de protocolos de enrutamiento. También tenemos al HSS (del inglés Home Subscriber Server) que es una base de datos que almacena el perfil de servicio para cada usuario.

> Capa de Servicio: esta capa está compuesta por servidores de aplicaciones SIP para recibir, procesar y almacenar datos proporcionando diversos servicios a los usuarios.

Las tres capas desarrolladas se muestran en la Figura 25.

Figura 25: Arquitectura General de IMS



Fuente: “IMS TUTORIAL” [7]

Como se puede apreciar, con esta arquitectura el objetivo de IMS es soportar aplicaciones que incluyan varios medios como voz, datos y vídeo o cualquier mezcla de ellos con la posibilidad de incluir o excluir componentes de cualquier tipo de medio durante una sesión determinada en una red totalmente IP, a esto se le denomina Aplicaciones IP Multimedia. El soporte eficiente de estas aplicaciones está basado en la premisa de que la red puede separar los diferentes flujos de paquetes de las aplicaciones durante una sesión multimedia; los flujos de paquetes al pertenecer a servicios diferentes tienen también diferente QoS (del inglés Quality of Service – Calidad de Servicio) [3].



que IMS y LTE han sido estandarizados, como ya se dijo, por 3GPP existe un camino natural para que los servicios de LTE sean prestados a través de IMS. En particular los servicios de voz y SMS (del inglés Short Message Service) en LTE, se desarrollarán a través de IMS [3].

#### 2.2.3.5.6. Ventajas de IMS

Las ventajas que nos brinda IMS puede ser visto tanto desde el lado de usuario como del lado del proveedor del servicio:

Ventajas para el Usuario:

- > Su implementación junto con LTE, permitirá tener una comunicación fluida, independientemente de la ubicación del usuario y la plataforma de comunicación que se esté empleando.
- > Todos los servicios, tales como voz, video, SMS, conferencias, IPTV, entre otros, estará disponible en el dispositivo que se utilice. Esto proporcionará al usuario una experiencia multimedia satisfactoria.
- > Los usuarios podrán ser capaces de personalizar sus necesidades de comunicación como deseen. Esto quiere que podrán predeterminar el tipo de comunicación que deseen para determinado contacto.
- > Los usuarios serán capaces de pasar del entorno de convergencia de fijo a móvil sin interrumpir la comunicación.
- > Se contará con una comunicación muy segura.

Ventajas para los Proveedores de Servicio:

- > El uso del backhaul IP de IMS proporcionará un transporte optimizado y codificado.

- > IMS proporciona una plataforma estandarizada con componentes reutilizables para el desarrollo de nuevos servicios. Esto reducirá el tiempo de desarrollo de los servicios y permitirá así el despliegue de nuevos servicios multimedia de forma rápida, lo cual será beneficioso para la empresa en este mercado tan competitivo.
- > La calidad de servicio (QoS), ha sido siempre un problema para los servicios IP. Es por ello que IMS fue diseñado teniendo en cuenta esto. Por lo que está garantizado anchos de banda adecuados para los servicios.
- > IMS permite a los usuarios pagar solo por los servicios utilizados. Por lo que estaríamos hablando de un sistema flexible para la función de generar los cobros por servicio.
- > Los estándares abiertos de IMS permite la interconexión de redes así como la interoperabilidad entre varios proveedores de servicios. Esto permitirá, a los proveedores de servicio, ofrecer una comunicación fluida entre los usuarios, independientemente de la red y que dispositivo se esté empleando.
- > La arquitectura abierta con que cuenta IMS, la disponibilidad de los servicios comunes y la convergencia de la red troncal IP reduce la complejidad del sistema, con lo que se reducirán los gastos de capital y los gastos operativos para los operadores.
- > Los operadores serán capaces de desarrollar nuevos software de aplicación, sin perder el control sobre su red.

## 2.2.4. MPLS

### 2.2.4.1. Estudio de las redes NGN

#### 2.2.4.1.1. Definición de NGN

Por sus siglas en inglés, NGN, Next Generation Networks, hace referencia a las Redes de Próxima Generación las cuales marcarán la evolución de las actuales redes tanto a nivel de core o backbone y acceso, así como los servicios que se podrán brindar a través de estas. Debido al incremento de tráfico a través de las redes actuales por la aparición de nuevos servicios, se hace necesaria la optimización de estas. Como consecuencia, se produce la convergencia hacia este nuevo modelo de red.

Actualmente, no se ha podido llegar a un acuerdo para la definición de NGN debido a que ninguno de los conceptos que se tienen abarca todos los escenarios posibles según el entorno y situación en que se den. Sin embargo, según las diferentes definiciones dadas por diversos organismos, encontrados en [8], se puede notar que todas coinciden en que NGN es una red convergente multiservicios constituida por diferentes niveles, los cuales se basan en una serie de normas para permitir la integración de todos los servicios bajo una misma red mediante la separación de las funciones de transferencia de información y el control de esta transferencia.

La presente tesis se basa en la definición dada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU por sus siglas en inglés) según la referencia bibliográfica [9] donde se menciona que NGN es una “red basada en paquetes que permite prestar servicios de telecomunicación y en la que se pueden utilizar múltiples tecnologías de transporte de banda ancha propiciadas por la calidad de servicio, y en la que las funciones relacionadas con los servicios son independientes de las tecnologías subyacentes relacionadas con el transporte. Permite a los usuarios el acceso sin trabas a

redes y a proveedores de servicios y/o servicios de su elección. Se soporta movilidad generalizada que permitirá la prestación coherente y ubicua de servicios a los usuarios”.

#### 2.2.4.1.2. Características de NGN

Debido a la necesidad de convergencia y optimización de las actuales redes como consecuencia del aumento del tráfico digital, se deben tener en cuenta las siguientes características para que una red NGN pueda ser llamada así. Estas características han sido tomadas de las referencias bibliográficas [9] y [10].

-Transferencia de información basada en paquetes.

-Separación entre las funciones de control, transporte y servicio.

-Capacidades de banda ancha con garantías de calidad de servicio de extremo a extremo de forma transparente para el usuario.

-Utilización de interfaces y protocolos abiertos con el fin de obtener la interoperabilidad entre productos de diferentes fabricantes y además con otras redes ya existentes.

Movilidad generalizada, es decir, dará a los usuarios la habilidad para comunicarse y acceder, mediante sus terminales, a los servicios independientemente de su ubicación o el entorno tecnológico en el que se encuentren.

-Convergencia de servicios entre redes fijas y móviles.

-Soportará conexiones con redes acceso de diferentes tecnologías y capacidades.

-Disociación entre la provisión del servicio y el transporte de este, es decir, el desacoplamiento del acceso y el transporte.

- Soporte de servicios y aplicaciones de diferente naturaleza: en tiempo real/no tiempo real, streaming y servicios multimedia.
- Acceso sin restricciones de los usuarios a diferentes proveedores de servicios.
- Variedad de esquemas de identificación la cual puede ser resuelta con el direccionamiento IP.
- Cumplimiento de todos los requisitos de regulación (comunicaciones, emergencia, seguridad, privacidad, interceptación legal, etc.).
- Características unificadas para el mismo servicio, como es percibida por el usuario.

#### 2.2.4.1.3. Arquitectura NGN

Debido a que las redes actuales presentan complejidad al momento de acceder a los servicios que estas brindan, las Redes de Próxima Generación deberán presentar una arquitectura que permita la integración perfecta de servicios de telecomunicaciones, tanto nueva como tradicional permitiendo así que estos últimos sean preservados. Para este fin, estos tipos de redes deberán poseer interfaces y protocolos abiertos permitiendo la interoperabilidad de productos de distintos proveedores y el soporte de múltiples tecnologías de acceso.

##### 2.2.4.1.3.1. Diferentes capas

De una manera más simplificada, se puede dividir la arquitectura de este tipo de redes a nivel de entidades funcionales, obteniendo cuatro diferentes capas [11] y [12].

###### a) Capa de Acceso y Transporte

El nivel de Acceso comprende las diferentes tecnologías utilizadas para alcanzar al usuario, llamadas también tecnologías de última milla las cuales comprenden las

tecnologías de cobre, como Cable, xDSL, etc.; y las inalámbricas, como WiFi, WiMax, etc.

El nivel de Transporte es el que proporciona el enrutamiento y/o conmutación del tráfico. Se puede basar en diferentes tecnologías como Frame Relay, ATM, IP o MPLS con el fin de garantizar la calidad de servicio.

b) Capa de Medios

En esta capa, se encuentran pasarelas cuya función es adaptar el tráfico (voz u otros) a la red de transporte. Estas pasarelas de medios se interconectan ya sea con los dispositivos de usuario final, con redes de acceso o con la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN).

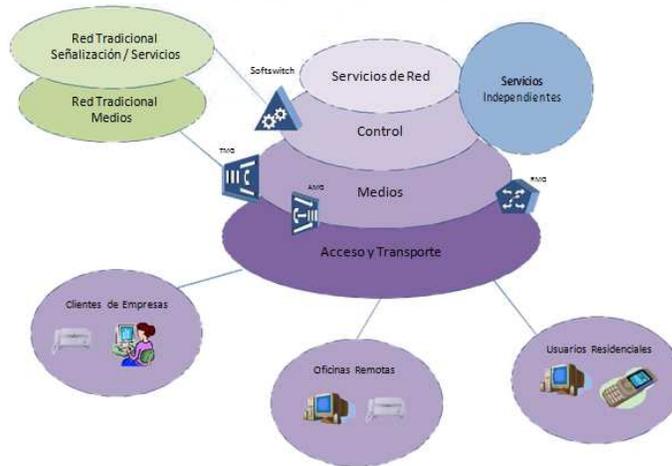
c) Capa de Control

Como su nombre indica, esta capa se encarga del control de las diferentes funciones de la red facilitando el aprovisionamiento, supervisión y mantenimiento. Es además, esencial para reducir costos ya que la gestión de la red está centralizada en esta capa.

d) Capa de Servicios

Esta capa es la que está constituida por los diferentes equipos y servidores que brindan los servicios y aplicaciones disponibles a la red. Estos servicios se ofrecerán sin importar la ubicación del usuario por lo que deberán ser independientes de la tecnología de acceso que se utilice.

Figura 27: Arquitectura NGN



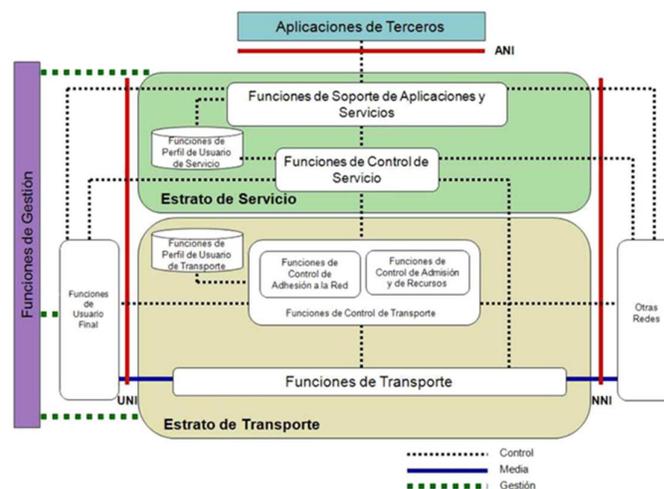
Elaboración: Propia

## 2.2.4.1.3.2. Arquitectura Funcional NGN de la ITU-T

La arquitectura funcional descompone la NGN en una serie de entidades, cada una de las cuales proveen una única función como se puede observar en la Figura 28.

Cada estrato realiza diferentes funciones [13]:

Figura 28: Arquitectura Funcional NGN



Elaboración: Propia

## a) Funciones del estrato de Transporte

Incluye las funciones de Transporte y Control de este estrato.

### > Funciones de Transporte

Proveen la conectividad para todos los componentes y funciones físicamente separadas en la NGN. Además, proveen soporte para la transferencia de información, así como la transferencia de información de control y gestión.

### > Funciones de Acceso

Permiten que los usuarios finales tengan acceso a la red core así como el manejo de políticas de QoS tratando directamente con el tráfico de usuario.

Para estas funciones, se tienen diferentes tecnologías como xDSL, cable, inalámbricas y ópticas.

### > Funciones de Borde

Se utilizan para procesamiento de tráfico de diferentes redes de acceso los cuales se dirigen hacia la red core de transporte. Estas funciones dan soporte a QoS y el control de tráfico.

También son usadas entre redes core de transporte.

### > Funciones de Núcleo de Transporte

Estas funciones son las responsables de asegurar el transporte de información a través de la red core. Proveen, además, manejo de políticas de QoS y de seguridad.

### > Funciones de Gateway

Proveen la capacidad para interconectarse con otras redes ya sea con redes existentes (PSTN/ISDN, Internet, etc.) o con otras NGN. Estas funciones pueden ser controladas con las Funciones de Control del estrato de Servicio o con las Funciones de Control del estrato de Transporte.

> Funciones de manejo de media

Permiten el procesamiento de información para la provisión del servicio como generación de señales de tono, eliminación de eco, etc.

Funciones de Control de Transporte

> Funciones de Control de Adhesión a la Red

Incluye las funciones de iniciación y registro de usuario a nivel de Acceso para acceder a los servicios de la NGN. Proveen identificación y autenticación, así como el manejo de direcciones y sesiones.

Proveen también provisión dinámica de direcciones IP, autenticación al nivel IP y autorización de la red de acceso basado en el perfil de usuario.

> Funciones de Control de Admisión y de Recursos

Regula la negociación y asignación de recursos entre las Funciones de Control del estrato de Servicio y las Funciones de Transporte. Además, controla y gestiona las políticas de QoS.

Estas dos funciones interactúan durante el acceso del usuario a la red comprobando el nivel de servicio acordado con el proveedor de los servicios de la NGN.

> Funciones de Perfil de Usuario de Transporte

Hacen referencia a una base de datos la cual contiene perfiles de usuario. Estos incluyen información para cada usuario además de información de control en el estrato de Transporte.

b) Funciones del estrato de Servicio

> Funciones de Control de Servicio

Incluye funciones de control de sesiones, registro, autenticación y autorización en el nivel de servicio.

> Funciones de Soporte de Aplicaciones

Provee funciones de registro, autenticación y autorización en el nivel de Aplicación.

> Funciones de Perfil de Usuario de Servicio

Representa la información de usuario y otra información de control mediante perfiles de usuario en el estrato de Servicio en una base de datos.

c) Funciones de Usuario final

Permite el soporte de diferentes equipos de usuario final ya sean antiguos o de última generación, así como fijos o móviles.

d) Funciones de Gestión

Son funciones que permiten la gestión de la red NGN con la finalidad de proveer sus servicios con la calidad, seguridad y confiabilidad esperada. Estas funciones pueden ser aplicadas en el estrato de Transporte o de Servicio.

Incluyen la gestión de fallas, configuraciones, seguridad, desempeño y facturación.

#### 2.2.4.1.4. Principios generales de la Arquitectura funcional NGN

De la arquitectura funcional propuesta por la ITU-T, se pueden resaltar las siguientes características y principios según [13] y [14]:

- > Enfoque más orientado a datos, es decir, el transporte se basa en paquetes.
- > Interfaces abiertas en cada nivel de red.
- > Dimensionado flexible del ancho de banda.

- > Migraciones de software más eficientes en los nodos que la controlan, reduciendo los costos operativos.
- > Soporte de múltiples tecnologías de acceso.
- > Control distribuido.
- > Provisión de servicios independiente debido a que esta provisión está separada de la operación de la red.
- > Soporte de servicios de redes convergentes facilitando el uso de servicios multimedia. Mayor seguridad y protección.

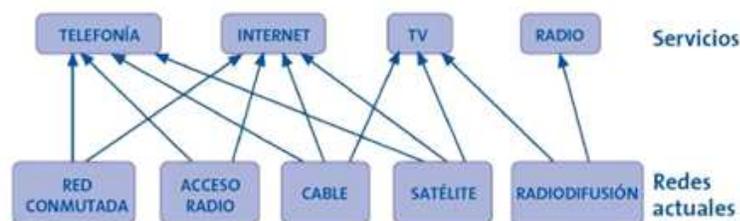
#### 2.2.4.1.5. Tendencias en los modelos de red

Durante los últimos años, las redes se han basado en un modelo vertical, en el cual se tenían redes separadas para cada servicio que ofrecía un proveedor de Telecomunicaciones.

Presenta las siguientes características:

- > Presenta una dependencia entre las redes y los servicios, donde cada servicio está ligado a una tecnología de acceso específica.
- > Cuando se tienen muchos servicios, se complica la integración en el acceso.

Figura 29: Modelo Vertical



Fuente: “Integración de infraestructuras Mediante NGN” [8]

- > Mientras la necesidad de calidad de servicio así como la variedad de servicios por parte de los usuarios aumenta, estas redes se vuelven más ineficientes en cuestión de costo, mantenimiento y operación lo que ha ocasionado la aparición del modelo horizontal en el que se logra la independencia entre red y servicio por medio de una infraestructura común. Este modelo presenta las siguientes características:
- > Provee una interfaz común para acceso y servicio la cual provee la calidad, seguridad y confiabilidad requerida por los servicios.
- > Simplifica la introducción de nuevos dispositivos y servicios.

Figura 30: Modelo Horizontal



Fuente: “Integración de infraestructuras Mediante NGN” [8]

#### 2.2.4.1.6. Evolución de las redes hacia NGN

A continuación, se describe el proceso de evolución hacia las Redes de Próxima Generación (NGN) tomando como punto de partida las redes clásicas, así como los factores que llevaron a dicha evolución [8].

Para tener un mejor entendimiento de este proceso de evolución, primero es necesario describir las características de las redes que han predominado hasta la actualidad, llamadas también redes clásicas.

El ancho de banda es escaso y, en consecuencia, caro.

Presentan un modelo vertical, es decir, los servicios se encuentran ligados a la infraestructura de red.

Los equipos de red son complejos, costosos, así como de difícil y costosa explotación.

La calidad de servicio se alcanza mediante la asignación y reserva de recursos.

Los servicios masivos de distribución de contenidos presentan gran complejidad debido a que estas redes no soportan la tecnología multicast de forma nativa.

Figura 31: Redes Clásicas



Fuente: "Redes NGN" [15]

Con el paso de los años, las necesidades de los usuarios fueron cambiando y pasaron a ser más exigentes y, de la misma forma, el cambio del mercado de las telecomunicaciones originó diversos factores que motivaron la evolución de estas redes clásicas:

- > Tendencia hacia la apertura, es decir, desregulación y liberación, impulsando la libre competencia y generando como consecuencia la aparición de nuevos servicios ofrecidos por los operadores.
- > Incapacidad de las redes clásicas para el soporte de nuevos servicios.
- > Desarrollo de Internet desencadenando, con el paso de los años, el crecimiento del tráfico lo que ha originado la congestión de la red.
- > Necesidad de reducir costos.
- > Necesidad de compartir infraestructuras de red.
- > Necesidad de simplificar y unificar la gestión, operación y mantenimiento tanto de la red como de los servicios.
- > Debido a estos factores, el proceso de evolución de estas redes clásicas tendrá una tendencia hacia el modelo NGN, es decir pasará de un modelo vertical a un modelo horizontal. Para que esto sea posible, la evolución partirá desde el core de la red y se irá extendiendo hacia el nivel de acceso de tal forma que las tecnologías existentes en este nivel, puedan seguir siendo utilizadas.

### 2.2.5. DWDM

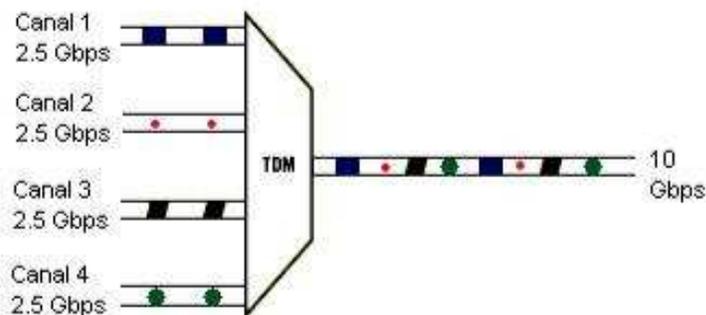
El importante aporte de la fibra óptica para poder transmitir grandes volúmenes de datos, hoy en día hace que las nuevas tecnologías existentes sean aplicadas para poder explotar el medio óptico, DWDM es una técnica de multiplexación para redes ópticas que permite incrementar considerablemente la capacidad de un canal de fibra óptica, evitando nuevos tendidos y aprovechando un recurso que ya está establecido. Así mismo la transmisión de voz, correo electrónico, video, datos multimedia son algunos ejemplos de los que se puede transmitir simultáneamente por DWDM, no hay que olvidar que también existe la facilidad de transmitir otros tipos de formatos como IP, ATM, SONET/SDH, Gigabit Ethernet entre otros sobre DWDM. Por tal razón este capítulo está dedicado al estudio de algunos conceptos básicos que nos ayudarán a entender lo que es la multiplexación densa por longitud de onda o DWDM.

#### 2.2.5.1. Definición de DWDM

Cuando se introdujo el concepto de fibra óptica se comprendió que ésta era la solución para poder transmitir grandes volúmenes de datos.

Al inicio de los años 80, TDM (Multiplexación por División de Tiempo) hizo posible incrementar la tasa de bits, con TDM la capacidad de un canal de fibra podía aumentarse haciendo que los intervalos de tiempo sean más pequeños y consecuentemente la multiplexación de diferentes señales. En un sistema TDM, cada fibra puede transportar una sola señal óptica de un solo láser (Figura 32). Esta señal óptica se convierte en señal eléctrica, se la regenera (amplifica/demultiplexa, multiplexa/amplifica) y finalmente es transformada nuevamente en una señal óptica para que sea transmitida libre de pérdidas [16].

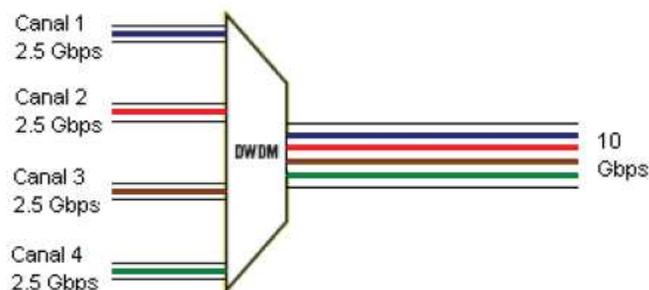
Figura 32: TDM (Multiplexación por División de Tiempo)



Fuente: Elaboración propia

Con WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda), la transmisión simultánea de múltiples señales a diferentes longitudes de onda sobre una misma fibra óptica, demostró ser una alternativa más fiable al momento de incrementar la capacidad del canal. (Figura 33.)

Figura 33: WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda)



Fuente: Elaboración propia

Las primeras redes WDM desplegadas fueron a finales de los años 80, multiplexando señales provenientes de un láser que manejaba dos longitudes de onda (técnica conocida hoy como CWDM), la desventaja de esta técnica fue que la señal multiplexada tuvo que ser separada cada tiempo antes de ser regenerada eléctricamente.

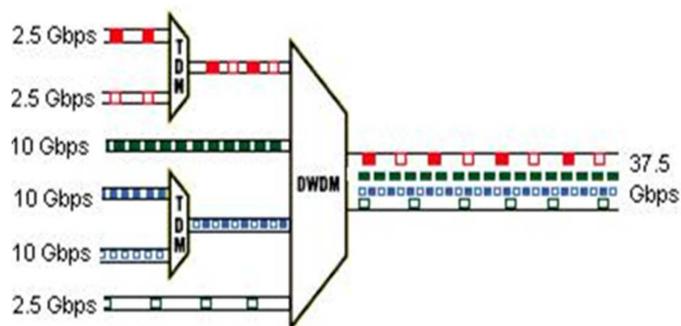
Hoy los modernos sistemas CWDM (como aquellos que están sobre los 20 nm de separación de canal), son usados para transmitir en un corto rango donde la regeneración no se requiere. Ellos transmiten hasta 16 canales entre 1310 y 1610 nm, haciendo de CWDM una solución eficaz en estos rangos.

Durante los años 90, se diseñaron redes para enviar hasta 4 señales distintas a diferentes longitudes de onda dentro de una misma ventana óptica, esta aplicación sin embargo requirió del uso de láseres especiales [16].

Para aumentar el ancho de banda, la separación entre canales debe ser más angosta, por ejemplo 0.8 nm entre dos canales, logrando hacer esta separación surgió DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), que es una tecnología que económicamente incrementa la capacidad de transporte a través del uso de rutas de fibra y equipos terminales ya existentes.

Mientras el debate continuó acerca de que, si WDM o TDM está mejor preparado para expandir redes de fibra, el mercado ha puesto claro que la única solución es integrando ambas tecnologías, dando la flexibilidad y capacidad para requisitos futuros (Figura 34). Estos requisitos pueden ser, por ejemplo:

Figura 34: Aumento de capacidad por integración de TDM y WDM



Fuente: Elaboración propia

-Gestionar diferentes longitudes de onda especializadas para diferentes usuarios.

-Arrendar longitudes de onda

-Expandir coberturas a sus redes

La demanda de nuevos servicios de datos y aplicaciones de Internet han contribuidos a que empresas portadoras en todo el mundo se sientan presionadas en su capacidad y busquen la manera de incrementar el recurso de ancho de banda.

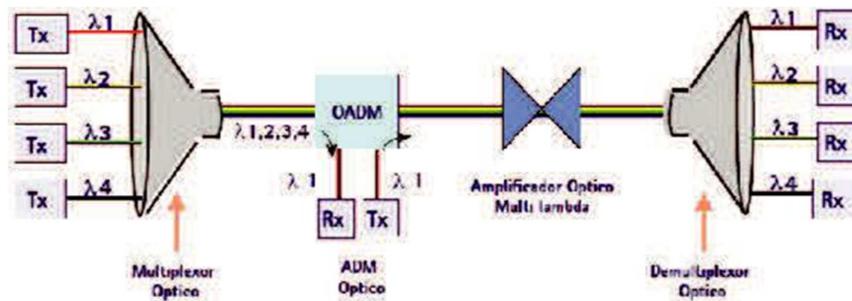
#### 2.2.5.2. Componentes de una red DWDM

Los componentes esenciales de DWDM pueden ser clasificados por su ubicación en un sistema (Figura 35):

- > En el lado del transmisor, los láseres con longitudes de onda precisas y estables, y multiplexores ópticos.
- > En el enlace, la fibra óptica que muestra una pérdida baja y actúa en la transmisión de espectros de las longitudes de ondas pertinentes, además la ganancia estable de los amplificadores ópticos para regenerar la señal en tramos largos y los multiplexores ópticos de inserción/extracción (add/drop) y los componentes ópticos cross-connect.
- > En el lado del receptor, fotodetectores y demultiplexores.

A continuación, se realiza una descripción de cada uno de estos componentes, con la finalidad de especificar su función dentro del sistema.

Figura 35: Componentes de un enlace DWDM

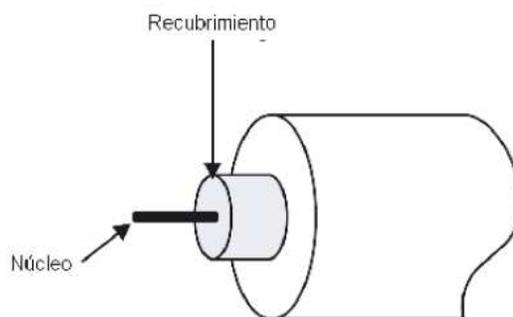


Fuente: Elaboración propia

### 2.2.5.3. Fibra Óptica

La función principal de las fibras ópticas es guiar ondas luminosas con un mínimo de atenuación, está compuesta principalmente por un núcleo (core) y un revestimiento (cladding), tal como se indica en la Figura 36, que pueden transmitir la luz aproximadamente a  $2/3$  de la velocidad de luz en el vacío. La transmisión de luz en la fibra óptica es explicada usando el principio de reflexión total interna. Con este fenómeno, se refleja el 100% de luz que choca una superficie. Por tener una idea, un espejo refleja aproximadamente el 90% de la luz que choca con su superficie.

Figura 36: Componentes de una fibra óptica



Fuente: Elaboración propia

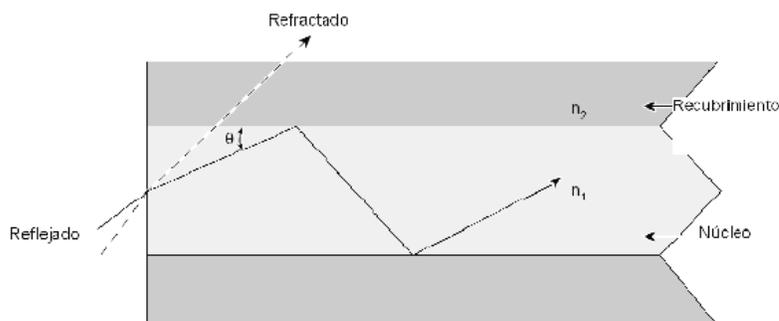
La luz se refleja (rebota) o se refracta (su ángulo de incidencia es alterado mientras está atravesando un medio diferente) dependiendo del ángulo de incidencia (ángulo con el que la luz atraviesa la interfaz entre un material ópticamente más denso y otro menos denso).

La reflexión total interna sucede cuando reúne las siguientes condiciones:

- > Se pasa de un material más denso a un material menos denso. La diferencia entre la densidad óptica de un material dado y el vacío, es el índice refractivo del material.
- > El ángulo incidente es menor al ángulo crítico. El ángulo crítico es el ángulo de incidencia en el que la luz se detiene siendo refractada (refracted), y es en cambio totalmente reflejada (reflected).

El principio de reflexión total Interna dentro de un núcleo de fibra se ilustra en la Figura 37. El núcleo tiene un índice refractivo superior que el revestimiento, permitiendo que el haz de luz se detenga en esa superficie con un ángulo menor al ángulo crítico para ser reflejado. El segundo haz no reúne el requisito angular crítico y es refractado.

Figura 37: Principio de reflexión total interna



Fuente: Elaboración propia

Una fibra óptica consiste de dos partes (filamentos de vidrio de alta pureza compactados rigurosamente), el núcleo y el recubrimiento, que son mezclados con elementos específicos, llamados dopantes, que ajustan sus índices de refracción. La diferencia entre los índices de refracción de los dos materiales hace que la mayoría de la luz sea transmitida sin salir de revestimiento, quedándose dentro del núcleo. El requisito angular crítico se reúne controlando el ángulo con el que la luz se inyecta en la fibra. Dos o más capas de protección alrededor del revestimiento aseguran que la fibra pueda ocuparse sin hacerse daño.

La propagación de ondas electromagnéticas en forma de luz hace que la fibra óptica no necesite de voltajes ni de corrientes, esto lo convierte en un medio de comunicación 100% inmune a todo tipo de interferencias electromagnéticas a su alrededor y, por lo tanto, es un medio de comunicación altamente confiable y seguro. La transmisión digital por fibra óptica utiliza la luz como portadora de información, dicha portadora está en el orden de los THz (10<sup>12</sup> Hz). En términos de longitud de onda, para que un rayo de luz pueda propagarse por la fibra óptica debe estar en el rango de 800nm y 1800nm.

Las velocidades en redes ópticas están aumentando en una forma considerable. Desde 622 Mbps hasta los 40Gbps que hoy en día puede ser una realidad. Sin embargo, la aspiración, es el de conectar redes que rompan la barrera de los 1.6 terabits por segundo. Pasar la barrera del terabit en una sola fibra se puede conseguir, gracias a la multiplexación densa por longitud de onda (DWDM).

Uno de los beneficios más importantes de las fibras ópticas es su habilidad de alcanzar largas distancias. Dependiendo de la calidad de la fibra y el hardware, una ruta de fibra óptica de gran longitud, no necesita ningún repetidor o equipo de amplificación.

Existen casos en los que la fibra óptica requiere de regeneraciones periódicas en la señal.

La capacidad de la fibra óptica va de la mano con la velocidad de transmisión, para entender imaginemos una autopista, si nosotros nos encontramos dentro de ella en auto normal, la velocidad del automóvil(velocidad de transmisión) no dependerá solo del límite de velocidad que pueda dar el automóvil, sino de las condiciones en que esté la autopista (capacidad), es decir si en la autopista estamos solos y el ancho de la misma es lo suficiente como para poder maniobrar, fácilmente podemos llegar al límite del velocímetro, pero si en la misma autopista, estamos con muchos más autos, jamás podremos llegar al límite del velocímetro.

#### 2.2.5.3.1. Tipos de Fibra

La fibra óptica se la puede clasificar en dos grandes grupos, multimodo y monomodo (Figura 38 Tipos de Fibra).

La fibra Multimodo fue la primera en ser comercializada, tiene un núcleo más grande que el de la fibra monomodo. Llamada así por permitir la propagación de varios modos, o rayos de luz, que pueden ser transportados simultáneamente a través de un cable. La fibra multimodo por el perfil del índice de sus núcleos y por la forma como la luz puede viajar a través de ellos, puede ser clasificada en dos [17]:

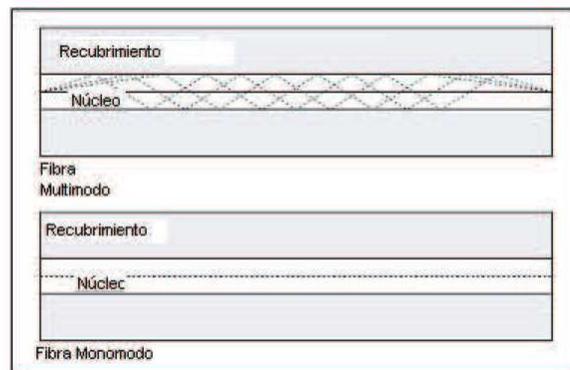
> Fibra de índice escalonado, su núcleo está hecho un solo tipo de vidrio. La luz internamente viaja en línea recta y se refleja fuera del revestimiento. Este tipo de fibra tiene una apertura numérica que es determinada por la diferencia de los índices de refracción del núcleo y revestimiento. Porque cada modo de luz viaja a diferentes rutas,

un pulso de luz es dispersado mientras está viajando a través de la fibra, por eso el ancho de banda es restringido en una fibra de índice escalonado.

> Fibra de índice gradual, tiene un núcleo que está compuesto por muchas capas diferentes de vidrio. Las capas difieren debido a sus densidades, por tal razón la luz es transmitida por una ruta parabólica. En un vidrio con un índice más bajo de refracción, la luz viaja más rápido cuando se acerca al exterior del núcleo. Recíprocamente, la luz viaja más lento cuando se acerca al centro del núcleo. Puesto que la fibra tiene diferentes capas, la capacidad del ancho de banda es 100 veces más grande que la de la fibra de índice escalonado.

La fibra Monomodo es útil porque la dispersión modal desaparece y el ancho de banda de la fibra es por lo menos 100 veces más grande que la fibra índice gradual.

Figura 38: Tipos de fibra [18]



Fuente: Elaboración propia

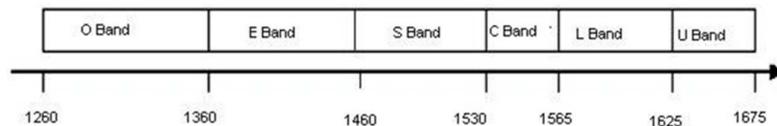
#### 2.2.5.3.2. Bandas ópticas de comunicación

El rango del espectro óptico va desde los 5 nm (ultravioleta) hasta los 1 mm (infrarrojo lejano), la región visible está en la banda de los 400 a 700 nm. Las comunicaciones de fibra óptica usan el rango de los 800 a los 1675 nm.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha designado 6 bandas espectrales para el uso en un rango intermedio y para comunicaciones de fibra óptica de largas distancias en el rango de los 1260 a 1675 nm, estas bandas dan designaciones de las características de la fibra óptica y del performance de la conducta de los amplificadores ópticos. Las regiones son conocidas por las letras O, E, S, C, L, y U, definidas de la siguiente manera, Figura 39:

- > Banda Original (O-band): 1260 a 1360nm
- > Banda Extendida (E-band): 1360 a 1460nm
- > Banda corta (Short) (S-band): 1460 a 1530nm
- > Banda Convencional (C-band): 1530 a 1565nm
- > Banda Larga (L-band): 1565 a 1625nm
- > Banda Ultra larga (U-band): 1625 a 1675nm

Figura 39: Bandas de comunicación óptica



Longitud de onda,  $\lambda$  (nm)

Fuente: Elaboración propia

#### 2.2.5.3.3. Fibras monomodo estandarizadas. [20]:

Las fibras monomodo han evolucionado durante varias décadas. La UIT define diferentes tipos de fibras. Algunas de las diferentes características de fibras ópticas monomodos estandarizadas para redes ópticas incluyen, la recomendación UIT G.652, G.653, G.654, y G.655.

Recomendación UIT-T G.652. Conocida como fibra monomodo con dispersión no desplazada, también se llama fibra monomodo estándar, y es la fibra normalmente más utilizada. Esta fibra es optimizada para la región de los 1310 nm y tiene cero dispersiones de longitud de onda a 1310 nm. También se puede usar este tipo de fibra en la región de los 1550 nm, pero no está perfeccionada para la misma. La dispersión cromática a los 1550 nm es alta (18ps/nm-km), y para aplicaciones de altas tasa de bits, la compensación de dispersión tiene que ser empleada. Un ejemplo de este tipo de fibra es la SMF-28.

**Recomendación UIT-T G.653.** Conocida como fibra monomodo con dispersión desplazada. Las fibras con dispersión desplazadas se perfeccionan para operar en la región de los 1500–1600 nm, con dispersiones altas. Cuando este tipo de fibra fue desarrollado, el propósito era aprovechar amplificadores dopados, los cuales son capaces de regenerar la señal óptica, gracias a propiedades químicas del Erblio, que viene a ser el dopante en la construcción de una fibra. Ésta es capaz de operar con múltiples canales en sistemas de DWDM.

**Recomendación UIT-T G.654.** Conocida como fibra monomodo con corte desplazado. Este tipo de fibra es un caso especial de la fibra monomodo, que tiene bajas pérdidas en la ventana de los 1550 nm. La recomendación UIT-T G.654 se perfeccionó para la región de los 1500–1600 nm. La baja pérdida puede ser lograda usando un núcleo de puro sílice. Estas fibras son caras de fabricar y raramente se usan. Estos tipos de fibras son útiles para aplicaciones submarinas y para aplicaciones de enlaces de muy largas distancias.

**Recomendación UIT-T G.655.** Conocida como fibra monomodo con dispersión desplazada no nula (NZDSF). Son fibras monomodo estándar (SMF), que tienen una dispersión cromática mayor que un valor no nulo a lo largo de la banda C (1500 nm). Esta dispersión reduce el efecto de no linealidades, que se ven en sistemas DWDM. Estos tipos de fibras están mejor preparadas y perfeccionadas para operar entre los 1500–1600 nm.

#### 2.2.5.3.4. Factores a considerar en una transmisión por fibra óptica

La transmisión de luz en una fibra óptica presenta varios retos con los que debe actuar. Estas pueden ser listadas de la siguiente manera:

- > La atenuación. - decae la fuerza la señal o pierde potencia la luz cuando la señal se propaga a través de la fibra.
- > La dispersión cromática. - ensancha los pulsos de luz cuando viajan en la fibra.
- > Las no linealidades. - efectos acumulativos de la interacción de la luz con el material mientras viaja, produciendo cambios e interacciones entre las longitudes de onda [21].

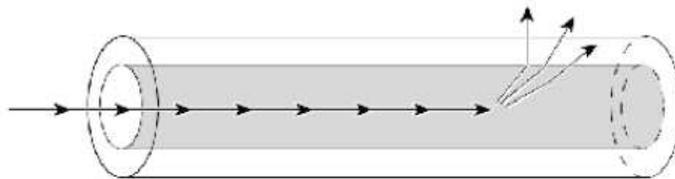
Cada uno de estos efectos tienen muchas causas, no todos afectan a DWDM, por lo que a continuación se hace énfasis en aquellas que más involucra a DWDM.

##### 2.2.5.3.4.1. Atenuación

La atenuación en la fibra óptica es causada por factores intrínsecos, principalmente la dispersión y absorción, y por factores extrínsecos, incluso la tensión del proceso industrial, el ambiente, y el torcimiento físico. La forma más común de

dispersión, es la dispersión de Rayleigh, que es la dispersión de la luz o cualquier otra radiación electromagnética por partículas mucho menores que la longitud de onda de los fotones dispersados, es causada por pequeñas variaciones en la densidad del vidrio durante su fabricación, el proceso de fabricación, causa que el vidrio se enfríe y desarrolle irregularidades submicroscópicas que se forman, de manera permanente, en la fibra. Estas variaciones son más pequeñas que las longitudes de onda usadas y por consiguiente actúa como esparcidor de partículas. La dispersión afecta más a las longitudes de onda cortas que a las longitudes de onda largas y limita el uso de longitudes de onda debajo de los 800 nm.

Figura 40: Dispersión de Rayleigh

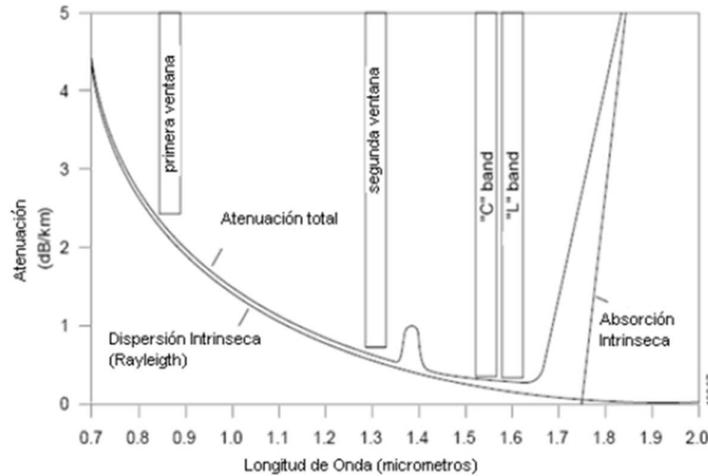


Fuente: Elaboración propia

La atenuación debido a la absorción es causada por las propiedades intrínsecas del propio material, las impurezas en el vidrio y algún defecto atómico en el vidrio. Estas impurezas absorben la energía óptica, causando que la luz se ponga más oscura. Mientras la dispersión de Rayleigh es importante para las longitudes de onda más corta, la absorción intrínseca es un problema para las longitudes de onda más largas y se incrementa dramáticamente alrededor de los 1700 nm. Sin embargo, la absorción debido a los picos introducidos en el proceso de fabricación de la fibra, está siendo eliminada en algunos nuevos tipos de fibra. Los factores primordiales que afectan la atenuación en fibras ópticas son la longitud de la fibra y la longitud de onda de la luz, en la figura podemos ver las pérdidas en decibeles por kilómetro (dB/km), por longitud

de onda de la dispersión de Rayleigh (Rayleigh scattering), absorción intrínseca, y el total de atenuación de todas las causas.

Figura 41: Curva de atenuación total [21]

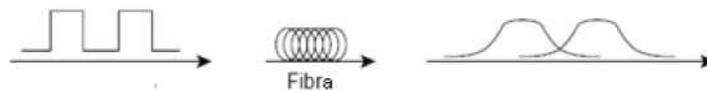


Fuente: Elaboración propia

#### 2.2.5.3.4.2. Dispersión

La dispersión es el ensanchamiento de los pulsos de luz cuando estos viajan por la fibra. El resultado de la dispersión es la distorsión de la señal (Figura 42), que limita el ancho de banda de la fibra.

Figura 42: Principio de dispersión



Fuente: Elaboración propia

Dos tipos de dispersión afectan los sistemas DWDM, uno de ellos es lineal, dispersión cromática, y el otro no lineal, dispersión por modos de polarización (PMD).

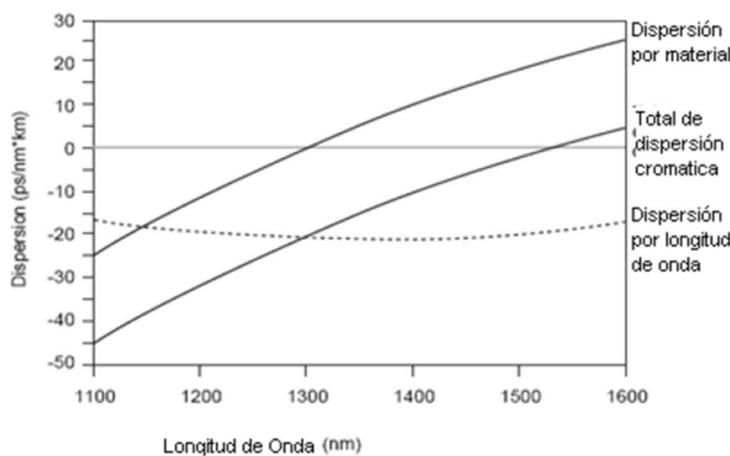
La dispersión cromática ocurre porque las diferentes longitudes de onda se propagan a diferentes velocidades. El efecto de dispersión cromática aumenta con el cuadrado de la tasa de bits. En fibras monomodo, la dispersión cromática tiene dos componentes, la dispersión por material y la dispersión de longitud de onda.

La dispersión material ocurre cuando las longitudes de onda viajan a velocidades diferentes a través del material. Una fuente de luz, emite varias longitudes de onda dentro de un rango. Así, cuando este rango de longitudes de ondas viaja a través de un medio, cada longitud de onda individual llega en tiempos diferentes.

El segundo componente, la dispersión de longitud de onda, es debido a la diferencia de los índices refractivos (del núcleo y revestimiento).

La figura 43 muestra la dispersión cromática total y de sus componentes por longitud de onda. Para fibras de dispersión desplazada y para fibras con dispersión no desplazada, la dispersión es cero para longitudes de onda cerca a los 1310nm [22].

Figura 43: Dispersión cromática



Fuente: Elaboración propia

La dispersión por modo de polarización (PMD) es causada por no tener una forma totalmente redonda la fibra, resultado del proceso industrial o tensión externa. Porque la tensión puede variar con el tiempo, PMD, al contrario de la dispersión cromática, está sujeto al cambio todo el tiempo.

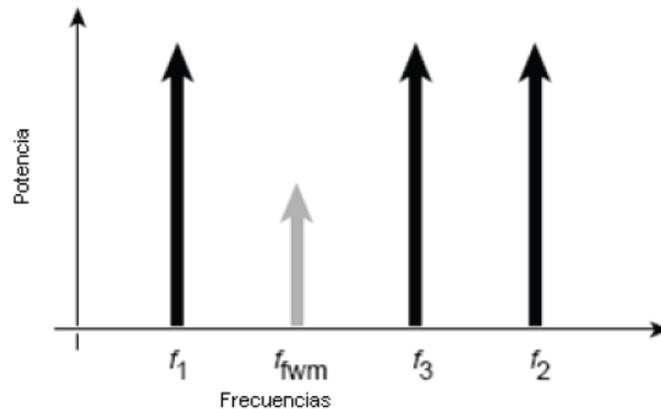
#### 2.2.5.3.4.3. No linealidades

Adicional a PMD, hay otros efectos no lineales. Estos efectos no lineales tienden manifestarse cuando la potencia óptica es muy alta y son muy importantes en DWDM.

Los efectos lineales como la dispersión y atenuación pueden ser compensados, pero los no lineales aumentan. Los efectos no lineales son los mecanismos limitantes fundamentales a la cantidad de datos que pueden ser transmitidos en una fibra óptica. Los más importantes efectos no lineales son la dispersión estimulada Brillouin, la dispersión estimulada Raman, la automodulación de fase y el mezclado de cuatro ondas que es el más crítico de estos tipos.

El mezclado de cuatro ondas es causado por la naturaleza no lineal del índice refractivo de la fibra óptica, las interacciones no lineales entre diferentes canales DWDM crean otros que pueden causar interferencia entre canales. En la figura 44 están interactuando tres frecuencias que producen una cuarta, resultando en un cross-talk y una degradación señal a ruido.

Figura 44: Mezclado de cuatro ondas



Fuente: Elaboración propia

#### 2.2.5.4. Arquitecturas en DWDM

Las arquitecturas de redes se basan en muchos factores, incluso en los tipos de aplicaciones y protocolos, distancias, modelos de uso y acceso, y topologías de red. En el mercado metropolitano, por ejemplo, podrían usarse las topologías punto a punto para poder unir empresas, topologías en anillo para conectar oficinas y para el acceso residencial, y podrían usarse las topologías de la malla para las conexiones entre oficinas y conexiones para backbones de larga distancia. En efecto, la capa óptica debe ser capaz de soportar muchas topologías y, debido a los grandes desarrollos en ésta área, esas topologías deben ser flexibles [23].

Las topologías más usadas en el mercado son la topología punto a punto y anillo. Con enlaces punto a punto sobre DWDM entre empresas grandes a gran distancia, sólo se necesita un dispositivo en el cliente para convertir el tráfico aplicado a longitudes de onda específicas y multiplexarlas. Los portadores con topologías lineales y anillo pueden evolucionar hacia redes en anillos, basados en OADMs. Con la configuración

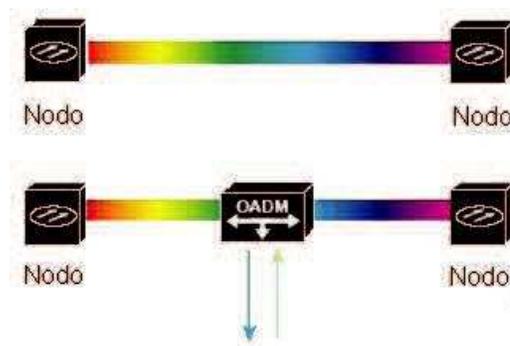
del OXC y switches, estas redes punto a punto y anillo se interconectarán en las mallas, transformando las redes metropolitanas ópticas en plataformas totalmente flexibles.

#### 2.2.5.4.1. Topología punto a punto

Las topologías punto a punto pueden llevarse a cabo con o sin OADM (Figura 45). Estas redes son caracterizadas por canales de velocidades extremadamente altas (10 a 40 Gbps), alta integridad y fiabilidad de señal, y una restauración rápida del enlace. En las redes de larga distancia, la distancia entre el transmisor y receptor puede ser varios cientos de kilómetros, y el número de amplificadores requeridos entre puntos finales está típicamente menor a 10. En redes MAN, no se necesitan a menudo los amplificadores.

En los equipos, la redundancia está a nivel del sistema. Los enlaces paralelos conectan sistemas redundantes a cualquier punto final. En la redundancia a nivel de tarjeta, los enlaces paralelos conectan sistemas a cualquier punto final que contienen transpondedores redundantes y multiplexores.

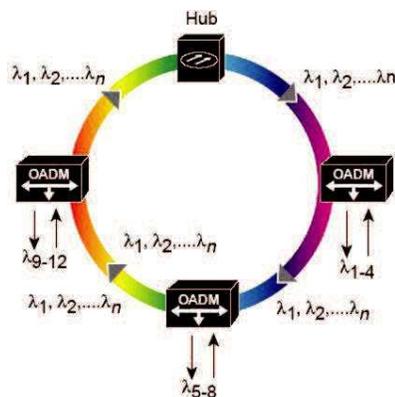
Figura 45: Arquitectura punto a punto



Fuente: Elaboración propia

Los anillos son la arquitectura más común encontrada en áreas metropolitanas y permiten empalmar de una longitud de decenas de kilómetros. El anillo de fibra podría contener cuatro canales con sus longitudes de onda respectivamente, y típicamente menos nodos que canales. La velocidad binaria de tráfico está en el rango de 622 Mbps a 10 Gbps por canal. Las configuraciones de anillos pueden ser desplegadas con uno o más sistemas DWDM, soportando cualquier tráfico, o ellos pueden tener una estación hub y uno o más nodos OADM, o satélites. Al tráfico originado en el nodo hub, es supervisado, y la conectividad con otras redes es establecida. En los nodos OADM, se seleccionan longitudes de onda, se extraen y agregan, mientras las otras pasan transparentemente. De esta manera, las arquitecturas en anillo permiten a los nodos en el anillo proporcionar el acceso para conectar a elementos de red como los enrutadores, switches, o servidores agregando o extrayendo canales de longitud de onda en el dominio óptico. Con el aumento en el número de OADMs, la señal está sujeta a pérdidas y la amplificación puede requerirse.

Figura 46: Arquitecturas en anillo



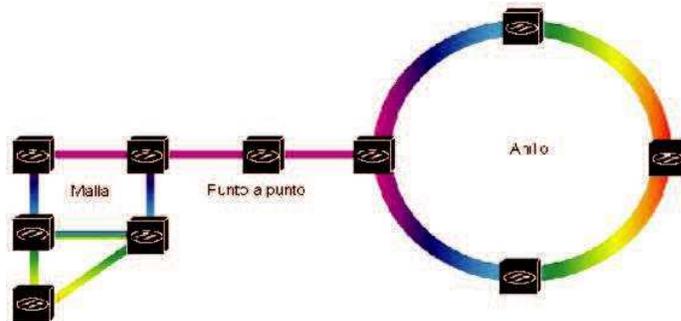
Fuente: Elaboración propia

Otros esquemas, como anillos conmutados de línea bidireccional (BLSR), que permiten al tráfico viajar desde el nodo origen al nodo receptor por la ruta más directa, permiten tener una protección muy confiable. Debido a esto, el BLSR es muy considerado para la instalación de redes SONET, especialmente cuando se implementa con cuatro fibras, con lo cual se ofrece una completa redundancia.

#### 2.2.5.4.2. Topología en malla

Describir las arquitecturas en malla es introducirse en el futuro de las arquitecturas en redes ópticas. Cuando las redes hayan evolucionado a una red tipo malla, los anillos y las arquitecturas punto a punto todavía serán usadas para realizar futuras extensiones, pero la arquitectura tipo malla promete ser la topología que abarque a estas dos. Esto se logrará por la introducción de OXCs configurables y switch que en algún caso remplazan, a otros dispositivos DWDM. El camino para unir arquitecturas punto a punto y mallas se ve muy claro. Empezando con enlaces punto a punto, provistos con nodos OADM a la salida para la flexibilidad, y consecuentemente para interconectarlos, la red puede evolucionar en una malla sin un completo rediseño. Adicionalmente, la malla y topologías del anillo pueden ser unidas por los enlaces punto a punto (Figura 47).

Figura 47: Arquitectura en malla, punto a punto y anillo



Fuente: Elaboración propia

Las redes DWDM en malla, consiste en interconectar todos los nodos ópticos. Este tipo de conexión de nodos requerirá de protección, donde los esquemas de protecciones anteriores contaron con la redundancia al sistema, tarjeta, o nivel de fibra. La redundancia en una arquitectura tipo malla emigrará a tener redundancia por longitud de onda. Esto significa, entre otras cosas, que una longitud de onda podría cambiar a otra a través de la red, debido a un enrutador óptico en el caso de presentarse alguna falla en la longitud de onda.

### **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS**

PTT: Push to Talk

GSM: Global System for Mobile communications. Sistema global de comunicaciones móviles. Las siglas inicialmente se referían al grupo encargado de su definición y estandarización (Groupe Spéciale Mobile, en francés).

2G: Segunda generación de comunicaciones móviles. La principal diferencia respecto de la primera generación fue la digitalización completa de la red.

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System. Sistema de telecomunicaciones móviles universales. Término utilizado en el marco europeo para las comunicaciones móviles de tercera generación.

3G: Tercera generación de comunicaciones móviles. Denominación genérica para referirse a las redes móviles digitales posteriores a los primeros sistemas digitales.

Generalmente engloba las redes consideradas bajo el paraguas del IMT-2000, aunque el término 3G es anterior.

LTE: Long Term Evolution: Evolución a largo plazo, camino evolutivo de GSM a 4G.

4G: Cuarta generación de comunicaciones móviles. Se usa de forma genérica para referirse a los conjuntos de conceptos e ideas que avanzan más allá de los definidos en los estándares de la 3G.

CS: Circuit Switched. Conmutación de circuitos, como oposición a la conmutación de paquetes.

PS: Packet Switched

3GPP: Third Generation Partnership Project. Iniciativa para el desarrollo del estándar UMTS de sistema de comunicaciones móviles de tercera

3GPP2: Third Generation Partnership Project 2. Proyecto colaborativo dedicado a la estandarización de la tercera generación de comunicaciones móviles, siguiendo el estándar cdma2000, de forma paralela al 3GPP, que sigue el estándar UMTS

CDMA: Code Division Multiple Access. Acceso múltiple por división en código.

CDMAONE: Conjunto de especificaciones de un sistema de comunicaciones móviles 2G basadas en los estándares TIA/EIA IS-95 CDMA.

EDGE: Enhanced Data rates for GSM Evolution. Tecnología que mejora el estándar GSM mediante el uso de codificaciones más avanzadas para el incremento de las tasas binarias, fundamentalmente para servicios de datos, utilizando modulación 8PSK. Se considera un punto intermedio entre las tecnologías GSM/GPRS y UMTS.

FDD: Frequency Division Duplex. Técnica de duplexado por división en frecuencia. Es la empleada en el estándar WCDMA FD-CDMA.

FDMA: Frequency Division Multiple Access. Acceso múltiple por división en frecuencia.

GPRS: General Packet Radio Service. Servicio radio genérico de datos por paquetes. Evolución del estándar GSM para la provisión de datos en modo paquete en la interfaz radio.

HSDPA: High Speed Downlink Packet Access. Variante de UMTS (a partir de la Release 5) que introduce un nuevo canal descendente de datos, compartido y de alta velocidad, para mejorar las prestaciones de los servicios de datos.

HSUPA: High Speed Uplink Packet Access. Variante del HSDPA que introduce un Nuevo canal ascendente de datos

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

IMS: IP Multimedia Subsystem. Subsistema IP multimedia. Según 3GPP, a partir de la Release 5 de los estándares de UMTS, IMS es el plano de control de los servicios IP multimedia.

IMT: International Mobile Telecommunications. Nombre dado por ITU al conjunto de estándares de telecomunicaciones móviles de tercera generación. También conocido como IMT-2000.

ITU: International Telecommunication Union. Unión Internacional de Telecomunicaciones.

MIMO: Multiple Input Multiple Output. Sistema de múltiples entradas y múltiples salidas. Se refiere comúnmente a los sistemas de antenas con gestión inteligente de trayectos múltiples.

MS: Mobile Station. Estación móvil.

MSC: Mobile Switching Center. Central de conmutación móvil.

Multicast: Técnica de direccionamiento en las redes IP que permite la distribución de contenidos a múltiples destinos a partir de un único flujo origen.

MCPS: Mega chip per second.

NGN: Next Generation Network. Redes de nueva generación.

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Multiplexado por división ortogonal en frecuencia.

PCS: Personal Communication Services. Servicios de comunicaciones personales.

PHY: Physical Layer. Capa física

PS: Packet Switched. Conmutación de paquetes, como oposición a la conmutación de circuitos (CS).

QoS: Quality of Service. Calidad de Servicio. Término genérico para definir el conjunto de parámetros que definen el tipo y la calidad del servicio proporcionado.

RNC: Radio Network Controller. Controlador de red radio. Nodo de la red de acceso UMTS encargado de controlar las estaciones base (Nodos B).

TDM: Time Division Multiplexing. Multiplexación por división en el tiempo.

TDMA: Time Division Multiple Access. Acceso múltiple por división en el tiempo.

TIA: Telecommunications Industry Association: Asociación norteamericana sin ánimo de lucro dedicada a la promoción de las telecomunicaciones, así como al desarrollo de estándares que contribuyan a dicho fin.

UE: User Equipment. Equipo de usuario

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones. Acrónimo en castellano de la ITU

UIT-D: Grupo perteneciente a la UIT que se encarga de los aspectos de “Desarrollo” de las telecomunicaciones.

UIT-R: Grupo perteneciente a la UIT que se encarga de la estandarización de los aspectos de “Radiocomunicaciones”.

UIT-T: Grupo perteneciente a la UIT que se encarga de la normalización de los aspectos de “Telecomunicaciones”.

UTRA FDD: UMTS Terrestrial Radio Access FDD. Red de acceso en la variante FDD del UMTS.

UTRA TDD: UMTS Terrestrial Radio Access TDD. Red de acceso en la variante TDD del UMTS.

DS-CDMA: Direct Sequence CDMA

UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network. Red de acceso radio terrestre UMTS.

VoIP: Voz sobre IP. Tecnología de transmisión de voz a través de redes IP.

WCDMA: Wideband CDMA. CDMA de banda ancha. Es la tecnología utilizada en el estándar UMTS

WiMAX: Tecnología para el bucle de usuario inalámbrico de banda ancha basada en el estándar IEEE 802.16. Sello de compatibilidad con las pruebas de certificación en interoperabilidad de dicha tecnología.

OVSF: Orthogonal Variable Spreading Factor- Códigos de canalización: códigos ortogonales con factor de ensanchamiento variable.

Plano: Categoría que identifica a una colección de objetos que ejecutan funciones similares o complementarias.

Estrato: Categoría que identifica a un nivel independiente cuyos miembros realizan, en conjunto, una misma función o funciones complementarias.

De acuerdo a la Recomendación Y.2001 de la ITU-T [9], las funciones de la NGN se dividen en dos estratos independientes llamados Estrato de Servicios y Estrato de Transporte. Esta independencia se logra debido a que cada uno de estos estratos está constituido por sus respectivos planos de usuario, control y gestión donde cada plano tiene diferentes funciones.

Según [10] se tienen las siguientes definiciones:

a) Estrato de Transporte

Parte de la NGN que provee las funciones para el control y gestión de los recursos de transporte y la transferencia de datos entre entidades terminales.

b) Estrato de Servicios

Parte de la NGN que provee las funciones que permiten la transferencia de datos entre los usuarios y servicios, así como las funciones para el control y gestión de los recursos de los servicios de la red.

c) Plano de Transporte

Provee transferencia, ya sea unidireccional o bidireccional, de información de usuario de un lugar a otro.

d) Plano de Usuario

Clasificación para los objetos que permiten la transferencia de información final para el usuario.

e) Plano de Control

Conjunto de funciones que controlan la operación de las entidades en el estrato que se esté analizando. Además, incluye las funciones requeridas para el soporte de este control.

f) Plano de Gestión

Conjunto de funciones para la gestión de las entidades del estrato bajo análisis, así como las funciones necesarias para el soporte de esta gestión.

## **2.4. HIPÓTESIS**

### 2.4.1. Hipótesis general

La renovación de equipamiento tecnológico GSM, HSPA+ y LTE representará una excelente plataforma de crecimiento en un mercado con alto potencial.

### 2.4.2. Hipótesis específica

- A. La perspectiva financiera de la renovación tecnológica incide directamente en la rentabilidad de ENTEL en el Perú.
- B. La perspectiva del cliente de la renovación tecnológica incide directamente en el posicionamiento de ENTEL en el Perú.
- C. La perspectiva del proceso de la renovación incide directamente con la cobertura y expansión del despliegue de red de ENTEL.

## **2.5. VARIABLES**

La identificación de las variables podemos presentarlas de la siguiente manera:

Variable independiente:

Licitación de la banda AWS, adquirido el año 2013 lo que provee a la nueva empresa una estrategia de crecimiento para la red y mejora en la estrategia de negocia lo que establece canales de distribución y de recarga; y ampliar la oferta comercial y de terminales, entre otros.

Variable dependiente:

Renovación Tecnológica, su definición por medio del cual la empresa y sus clientes adquieren tecnología de vanguardia, que favorece el manejo eficiente y eficaz de los recursos de su empresa, la innovación de servicios, de tal

manera, que coadyuve al crecimiento sostenible de la empresa. Sus principales etapas son:

- A. Análisis de viabilidad del proyecto (Inicio)
- B. Planificación detallada del trabajo a realizar (Planificación)
- C. Ejecución del proyecto (Ejecución)
- D. Seguimiento y control del trabajo (Seguimiento y Control)
- E. Cierre del proyecto (Cierre)

#### 2.5.1. Definición conceptual de la variable

Licitación de la banda AWS, es una banda de espectro de telecomunicaciones inalámbricas utilizada para servicios móviles de voz y datos, video y mensajería. AWS se utiliza en los Estados Unidos, Argentina, Canadá, Colombia, México, Chile, Paraguay, Perú, Ecuador y Uruguay. Sustituye parte del espectro anteriormente asignado al servicio de distribución multicanal multipunto (MMDS), a veces denominado cable inalámbrico, que existía de 2150 a 2162 MHz.

La banda AWS utiliza frecuencias de microondas en dos segmentos: de 1710 a 1755 MHz para enlace ascendente y de 2110 a 2155 MHz para enlace descendente. El servicio está destinado a ser utilizado por dispositivos móviles como teléfonos móviles para servicios móviles de voz, datos y mensajería

Renovación Tecnológica, La renovación es una acción que se lleva a cabo con la misión de restaurar, cambiar o de modernizar algo que ha quedado obsoleto, que se encuentra roto en algún aspecto o que es viejo, pero aún útil y entonces se decide darle un nuevo aspecto a través de diversas técnicas o elementos.

Si un aparato o máquina que disponemos ya no responde a las demandas que nos impone la tecnología de hoy día es preciso renovarla, entonces, lo más usual en ese caso es reemplazarla por una nueva o por otra que sí presente las novedades actualizadas.

#### 2.5.2. Definición operacional de la variable

Licitación de la banda AWS va a permitir la transformación tecnológica hacia los smartphones y los datos; hacia una hiperconectividad total. La economía se expande a buenas tasas y el ambiente competitivo da espacio para un operador que ofrezca calidad.

Renovación Tecnológica se realiza a través de la implementación del equipamiento moderno que se adquiere al tener la banda AWS bloque B (1730-1750 Mhz ~ 2130-2150 Mhz) con antenas que cumplan con los requerimientos mínimos ofertados tanto en hardware como en software, todo esto desplegado bajo la gestión de proyectos.

#### 2.5.3. Matriz de consistencia

La matriz de consistencia se puede ver en el ANEXO 2.

## **CAPITULO III: METODOLOGIA**

### **3.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

El proyecto Renovación Tecnológica SWAP se inicia una vez aprobado el presupuesto de inversión.

Este proyecto es una investigación explicativa ya que se sienta en un sustento fijo y estructurado.

### **3.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN**

En agosto de 2013, ENTEL Chile concretó la adquisición y toma de control del 100% de las acciones de esta compañía a NII Holdings, en una operación que involucró alrededor de USD410 millones.

Nextel era la tercera compañía de telefonía móvil de Perú, con ventas por USD314 millones y una base de 1,6 millones de clientes, a diciembre 2013. Históricamente se focalizó exitosamente en el segmento de Empresas y de clientes de mayor uso, en particular a través de servicios de voz en la modalidad push to talk (PTT), similar a las comunicaciones de radio. Si bien la compañía perdió posicionamiento de liderazgo y masividad, mantuvo un posicionamiento de calidad y buen servicio.

Este objetivo implicará la expansión de las operaciones de Nextel hacia una oferta de servicio móvil moderna, más centrada en la conectividad de datos, amplia, incluyendo empresas y personas de manera masiva, sobre la base de una red robusta, con plataformas y servicios de clase mundial.

Por esta razón, incluso antes de concretar esta adquisición, en Julio 2013 postulamos y obtuvimos a través de la filial Americatel Perú, un espectro en la banda AWS (el

bloque B de la banda AWS -20+20 MHz). Esta licencia, de 40 MHz, nos permite desplegar desde el inicio redes con tecnología 4G LTE.

Esta licencia, adquirida en USD105, 5 millones, permitirá a Nextel Perú otorgar servicios de datos a través de LTE ampliando su gama de tecnologías de acceso móvil. Será desplegada simultáneamente con las redes 2G y 3G utilizando antenas activas y single RAN, tecnología de última generación que optimiza las inversiones, disminuye los plazos de implementación y los costos futuros de operación.

En la gestión 2014, Entel comienza a consolidar el proceso de adquisición a la norteamericana NII Holdings del 100% de las acciones de Nextel Perú, una compañía que había estado orientada principalmente al segmento Empresas. Con una profunda y exitosa campaña de posicionamiento, en octubre la sociedad concretó el cambio de marca de Nextel a Entel Perú, enfocada en convertir a la empresa en un operador móvil global que aborda todos los segmentos del mercado peruano, ofreciendo una experiencia de uso diferenciadora a los clientes.

En preparación para este lanzamiento de Entel en Perú, que implicó un cambio estratégico al cambiar el foco de crecimiento desde Empresas a Personas, la compañía alcanzó importantes hitos, como la actualización y ampliación de la red de los servicios 2G, 3G y 4G, duplicando los sitios de presencia hasta más de 1.700 (POPs) y concretando la infraestructura más moderna en el Perú. En un esfuerzo por impulsar la capilaridad de Entel, se aumentó en 60% los puntos de venta, de manera de contar con presencia extendida en los sitios de interés.

A continuación, se presenta la estructura del proyecto de renovación tecnológica para luego describir el swap de equipos 2014 – 2015.

### 3.2.1. Estructura del Proyecto

La Gerencia de Construcción e Infraestructura de Red tiene una estructura base, por orden de jerarquía, dentro de ella existen varias áreas que participan en la construcción de sitios y despliegue de red, y constan de la siguiente manera:

- > Jefatura de Mediación
- > Jefatura de Búsqueda y Adquisición
- > Jefatura de Desarrollo Proyectos de Infraestructura Móvil
- > Jefatura de Implementación de Nodos
- > Jefatura de Implementación Transmisión
- > Jefatura de Desarrollo de Proyectos In Building

La Jefatura de Implementación Transmisión, se encarga de proyecto de implementación Microondas como el Rollout, Modernización MAC – Media y Alta Capacidad, Long Haul, Ampliación de red, DWDM, PE-RAN, Enlaces arrendados (fibra óptica de planta externa).

Anteriormente la Jefatura de Implementación de Nodos y la Jefatura de Implementación Transmisión era una sola área, y supervisó e implementó toda la renovación tecnológica 2G/3G/4G Swap 2014-2015.

Dentro del área de Implementación existen diferentes cargos y funciones, dentro de ellas se detallan los siguientes:

- > Jefe de Implementación: es el encargado de evaluar a las contratistas que intervendrán en el despliegue de red, ver la factibilidad de los proyectos tanto presupuestales como en el aspecto técnico; asistir a las reuniones de seguimiento y kick off de los proyectos nuevos.

- > Supervisor de Implementación: es el encargado de asignar los trabajos a las contratistas que hayan sido homologadas por la empresa a nivel técnico como a nivel de seguridad, realizar el seguimiento a los proyectos bajo su responsabilidad, reportar el avance a la jefatura, dar soporte al coordinador.
- > Coordinador de Implementación: es el encargado de gestionar todos los recursos disponibles para el despliegue de red, brindar viabilidad para la ejecución de trabajos a contratistas, gestionar el acceso a las estaciones base de ENTEL PERU y co-ubicaciones; solucionar cualquier inconveniente que se suscite antes, durante y después del despliegue de red.

#### Funciones del área de Implementación:

- > Aprobar y validar TSS realizados por el vendor.
- > Dar seguimiento a las adecuaciones realizadas por el vendor.
- > Dar seguimiento al delivery y validar el check list de “aceptación de equipos” entregado por el Vendor.
- > Coordinar con el área de infraestructura cualquier adecuación que no haya sido contemplada durante los TSS.
- > Seguimiento y control en la etapa de implementación. Solicitar al Vendor informe de avance diario, dado que el team de implementación es el responsable directo del control y del correcto avance del cronograma.
- > Facilitar soluciones al Vendor en caso tengan algún retraso en el cronograma.
- > Coordinar con el área de O&M el acceso al site para las diversas contratistas del Vendor.

- > Llevar el control de celdas implementadas por clúster para ser transferidas al área de integración.
- > Coordinar con el área de O&M la solución de cualquier issue presentado dentro de la implementación por parte del Vendor (problemas con la FO, energía, etc.).
- > Coordinar con el área de planeamiento cualquier cambio en el diseño que quiera realizar el Vendor.
- > Llevar control del status de las celdas en donde se tendrán que realizar swap de RRU, colocaciones, nuevas estaciones, entre otros escenarios; con el fin de cumplir con el cronograma y cuota pactada en el RFP.

Por el lado del Vendor:

- > Transmission Engineer: encargado de realizar la configuración y creación de ruta de servicios MPLS por donde viajan los servicios 2G/3G/4G para darles el pase a la configuración de los nodeB; también se encarga de detectar e informar cualquier anomalía.
- > Wireless Engineer: encargado de realizar la configuración en el NodeB para que pueda ser puesta al aire; también se encarga de detectar e informar cualquier anomalía.
- > Quality Engineer: encargado de revisar toda la documentación de calidad para aceptación del nodeB, hacer cumplir el estándar de calidad con las contratistas. Luego de su conformidad éste sitio puede pasar facturación.

### 3.2.2. Instalación de un NodoB

Swap de antenas:

Los coordinadores se encargan de realizar toda la gestión necesaria para hacer posible la implementación en los nodosB, y esto tiene el siguiente proceso:

- > La Gerencia de Construcción e Infraestructura de Red solicita el cronograma de adecuaciones – actividades al Vendor, en este caso es HUAWEI del PERU, y también a la PMO – Project Management Office. Estas asignaciones son a nivel nacional y es el punto de inicio del Despliegue de Red (fechas, grupos disponibles, materiales, accesos) hasta llegar a la puesta on air de las estaciones.
- > Luego de la asignación de estaciones al Vender, proceden a realizar el TSS que es el estudio de campo donde se verifica la factibilidad de colocar nuevos equipos, la capacidad de la energía existente, espacios en torre y sala, disponibilidad en el recorrido vertical en escalerilla, etc.
- > Luego de tener el estudio de campo, se comienza con el listado de materiales que se necesitarán para la nueva instalación y se solicita al área de logística del Vendor que comience con la recolección de todos los materiales solicitados y que los vaya enviando según cronograma, acordado con el Vendor y cooperador, a los sites asignados.
- > En paralelo con el listado de materiales, se comienza con las asignaciones de las estaciones base a cada cooperador (dependiendo de la cantidad de grupos de trabajo que brinda cada cooperador) y se planifica el tiempo en que debe comenzar la instalación, esto según el cronograma que se le entrega al Vendor.

> Luego de haber terminado la instalación, equipos instalados, BBU comisionada y la configuración de la eNodeB por parte del Wireless Engineer, se procede a solicitar la puesta al aire de la nueva estación O&M RAN.

> Luego de haber terminado la instalación de equipos y de la puesta on air, se procede a realizar el ATP de los equipos instalados y verificar el buen funcionamiento del nodoB.

> Luego de haber realizado el ATP, donde se deja limpia la instalación, el cooperador entrega la documentación de calidad que contiene: fotos de instalación terminada, mediciones de ROE (VSWR) y POTENCIA, log de comisionamiento y las ultimas 4 hojas, del ATP, firmadas por el Ingeniero de ENTEL PERU, y el personal del cooperador que realizó el ATP.

Este reporte pasa al área de calidad donde el Quality Engineer revisará y dará el visto bueno de la documentación presentada; si es que el Quality Engineer encontrara algún error o faltase documentación se le pedirá al cooperador que subsane tal error o complete la documentación en un plazo no mayor a 48 horas.

> Si es que el Quality Engineer diera el visto bueno, toda esta documentación se le entregaría al Área de Control de Gestión para su respectiva facturación al interno.

### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

Las principales actividades se detallan a continuación, sin embargo, este no es exhaustivo porque se requiere del inicio del proyecto y sus actividades para poder definir cada una de las tareas y sus responsables para poder tener dinamismo en el trabajo.

Las gerencias que participan en este proyecto son las siguientes:

- > Gerencia de Implementación e Integración de Sitios, Acceso y Agregación, ahora llamada Gerencia de Construcción e Infraestructura de Red.
- > Gerencia de O&M Red de Acceso y Proyectos de Red ahora llamada Gerencia de O&M de Sitios Y Accesos De Red.
- > Gerencia de O&M Core, Transporte y Plataformas.
- > Gerencia de Despliegue de Red

El inicio de la etapa de SWAP parte por la Gerencia de Construcción e Infraestructura de Red, solicitando el Cronograma de Adecuaciones / Actividades al Vendor, en este caso HUAWEI.

HUAWEI del Perú es una Transnacional China que opera en el país desde el 2003, importa materiales para el mercado de telecomunicaciones y está dividida en varias áreas, una de ellas es el área de implementación donde se realiza todo el proceso de instalación, junto con Ericsson fueron los dos proveedores que se presentaron para el concurso de Renovación Tecnológica.

En el ANEXO 3 se da mayor información sobre la organización de este flujo de trabajo.

### **3.4. TÉCNICA E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para la renovación tecnológica 2G / 3G / 4G se necesita tener en consideración muchos detalles para que su implementación sea exitosa. En las siguientes líneas se detallará cada aspecto a tomar en cuenta para la implementación de un nodo B.

#### **3.4.1. Cronograma**

El cronograma que se estableció para la implementación fue el siguiente:

Tabla 5: Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>PRELIMINARES</b>													
VISITA A PARA INSPECCION Y METRADO (TSS)	1												
REPORTE DE INSPECCIÓN TECNICA	1												
ELABORACIÓN DE INGENIERÍA RF	2												
<b>LOGISTICA Y TRANSPORTE</b>													
SOLICITUD Y RECOJO DE EQUIPAMIENTO DE ALMACÉN	3												
TRANSPORTE DE EQUIPOS A SITIO	2												
<b>MONTAJE E INTEGRACIÓN DE NODO</b>													
MONTAJE DE EQUIPOS	1												
INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE ENERGÍA Y RF	3												
INSTALACIÓN DE EQUIPOS EN SALA	3												
INTEGRACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO	1												

Fuente: Elaboración propia

#### 3.4.2. Asignación de estación base

ENTEL PERU tiene varios cooperadores que se encargan de realizar diferentes trabajos para ellos, entre los cuales está la renovación tecnológica 2G / 3G / 4G. Somos nosotros los encargados de asignar la cantidad de estaciones base para el SWAP de un NodoB, todo esto depende de la nueva cobertura o la ampliación de cobertura que queramos darle a cierta zona.

De acuerdo a esto, ENTEL PERU tiene la potestad de asignar la cantidad de sitios a realizar el Swap a los cooperadores que creamos conveniente según sus calificaciones, entre ellos Huawei del Perú.

#### 3.4.3. Estudio de campo (TSS-Technical Site Survey)

Luego de que ENTEL PERU, asigne a Huawei la cantidad de estaciones donde se realizará la renovación tecnológica 2G / 3G / 4G, se procede a realizar el estudio de campo de las estaciones asignadas. Para este reporte se tomará el caso de una estación que se encuentra en Lima, la estación es Villa El Salvador (LM\_PCS\_038\_VILLA\_EL\_SALVADOR) el cual comprende los escenarios de:

- > Renovación Tecnológica 2G / 3G / 4G.
- > Red Super Core – DWDM y PE-RAN.

En el ANEXO 4, 5 y 6 se dan mayor información sobre lo que comprende este estudio de campo, basado en los 3 proyectos antes mencionados.

#### 3.4.4. Parámetros geográficos

En esta parte se realiza un levantamiento de información de la estación base, tales como: dirección, fotos de la fachada donde se encuentra la estación base, coordenadas geográficas y algún comentario del acceso a la estación. Esta información es muy importante para la ubicación e ingreso de materiales y del personal que instalara los equipos.

Para este caso la dirección es Mz. "N", Lt. 5, Sector segundo, Grupo residencial No. 14 distrito de Villa El Salvador, provincia de Lima, departamento de Lima, las coordenadas 12° 12' 35.433" S, 76° 56' 30.992" W.

#### 3.4.5. Adecuaciones para nuevos equipos

En esta parte del TSS se especifica donde irían las adecuaciones, tales como:

- > Montaje en torre existente para las nuevas antenas a instalar, donde se toma en cuenta la altura de la torre, el espacio disponible en torre y la cantidad de sectores que tendrá la estación. Si es que no hubiera espacio disponible en la torre para los nuevos soportes para las antenas se considera realizar una migración de antenas, que significa cambiar una antena por otra, habiendo afectación de servicios por sectores. Todos estos detalles lo analizan y determina Implementación. De acuerdo al estándar que maneja Huawei para el proyecto de Renovación Tecnológica, los soportes para antenas deben de tener los siguientes detalles técnicos:

- 3.5 metros de largo, tubo de fierro galvanizado.
- 2.5'' ~ 3'' de espesor, tubo de fierro galvanizado.

Para el caso que se presenta en esta tesis, la estación VILLA\_EL\_SALVADOR, se reutilizaran 4 soportes en torre para las nuevas antenas a instalar.

> Montaje en torre existente para los equipos Huawei a instalar, (las RRUs) y paso en torre, si es que fuera necesario (para la subida de la fibra óptica y los cables de energía). En este caso también se toma en cuenta la altura de la torre, el espacio disponible en torre y la cantidad de sectores que tendrá la estación. Si es que no hubiera espacio para los soportes de las RRUs en torre, se ponen en el suelo de la estación. Todos estos detalles lo analizan y determina Implementación. De acuerdo al estándar que maneja Huawei para el proyecto de Renovación Tecnológica, los soportes para antenas deben de tener los siguientes detalles técnicos:

- 1.5 metros de largo de tubo, fierro galvanizado.
- 2.5'' de espesor de tubo de fierro galvanizado.

Para el caso que se presenta en esta tesis, la estación VILLA\_EL\_SALVADOR, se utilizaran como solución los mismos soportes en donde se instala la antena AAU3910 y su posición será back to back (B2B).

La foto 1 muestra el montaje en torre existente para las antenas, las RRU's.

Foto 1: Montaje en torre existente para las antenas, las RRUs



Fuente: Archivo propio

> Montaje en torre existente para una nueva barra de tierra, si es que fuera necesario, para el aterramiento de los equipos (RRUs) a instalar. Se tiene que tomar en cuenta cuanta cuan poblada esta la barra de tierra existente en la estación. Este detalle lo analiza y determina Implementación, que acompaña en la visita técnica a la estación

base. Para el caso que se presenta en esta tesis, la estación VILLA\_EL\_SALVADOR, no se instalará nueva barra de tierra pues se cuenta con espacio en la existente.

> Montaje en sala para un nuevo gabinete TP48200B donde se implementará la nueva BBU3900, conocido como gabinete de transmisión. Aquí se toma en cuenta el espacio que existe en la estación, pues si no hay espacio disponible se hace la migración de un gabinete existente al nuevo gabinete de transmisión. Este detalle se analiza en el TSS y se valida en el interno.

Para el caso que se presenta en esta tesis, la estación VILLA\_EL\_SALVADOR, se instalará nuevo gabinete de transmisiones pues se cuenta con poco espacio en la estación.

La foto 2 muestra el gabinete de transmisiones instalado.

Foto 2: Gabinete de transmisión instalado





Fuente: Archivo propio

### 3.4.6. Parámetros de ingeniería

En esta parte del TSS se especifica los parámetros a utilizar en la instalación de las antenas, tales como: tipo de antena a instalar, azimut que tendrá cada sector, el tilt eléctrico de cada antena y la altura donde se instalaran las antenas. El conjunto de todos estos parámetros, se le llama DATAFILL, lo entrega Ingeniería RF. La tabla 6 muestra el DATAFILL de la estación VILLA\_EL\_SALVADOR, que es la base estación que se presenta en esta tesis:

Tabla 6: DATAFILL de la estación VILLA\_EL\_SALVADOR

NodeBName	NodeBType	RRU Model	SectorID	CellID
Villa_Salvador	BTS3900 V100R008C00SPC240	RRU3942	1	381
Villa_Salvador	BTS3900 V100R008C00SPC240	RRU3942	1	386
Villa_Salvador	BTS3900 V100R008C00SPC240	RRU3942	2	382
Villa_Salvador	BTS3900 V100R008C00SPC240	RRU3942	2	387
Villa_Salvador	BTS3900 V100R008C00SPC240	RRU3942	3	383
Villa_Salvador	BTS3900 V100R008C00SPC240	RRU3942	3	388
Villa_Salvador	BTS3900 V100R008C00SPC240	RRU3942	4	384
Villa_Salvador	BTS3900 V100R008C00SPC240	RRU3942	4	389

CellName (M2000)	LAC	RAC	URA	P-SC	Longitude	Latitude
01300381_LM_Villa_Salvador	1006	16	16	153	-76.94194222	-12.2098425
01300386_LM_Villa_Salvador	1006	16	16	153	-76.94194222	-12.2098425
01300382_LM_Villa_Salvador	1006	16	16	112	-76.94194222	-12.2098425
01300387_LM_Villa_Salvador	1006	16	16	112	-76.94194222	-12.2098425
01300383_LM_Villa_Salvador	1006	16	16	50	-76.94194222	-12.2098425
01300388_LM_Villa_Salvador	1006	16	16	50	-76.94194222	-12.2098425
01300384_LM_Villa_Salvador	1006	16	16	49	-76.94194222	-12.2098425
01300389_LM_Villa_Salvador	1006	16	16	49	-76.94194222	-12.2098425

Azimuth	DownTilt	E-DownTilt	M-DownTilt	Ground Height (As built)	AntennaType
40	10	5	5	23.24	AAU3910
40	10	5	5	23.24	AAU3910
170	7	0	7	23.24	AAU3910
170	7	0	7	23.24	AAU3910
250	7	0	7	23.24	AAU3910
250	7	0	7	23.24	AAU3910
320	0	0	0	23.24	AAU3910
320	0	0	0	23.24	AAU3910

Fuente: Archivo propio

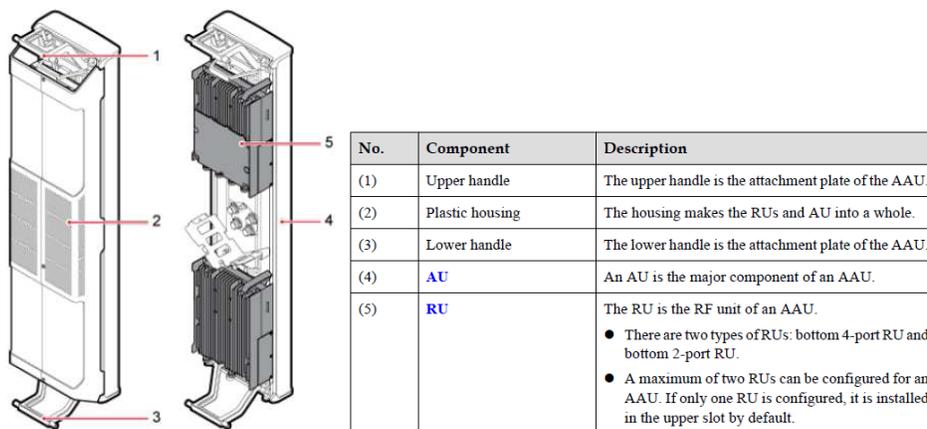
Para el caso se instalarán antenas AAU3910, las cuales son propias de la marca HUAWEI, DualPol, rango de frecuencia desde 1700 ~ 2690 Mhz, 45° ancho de haz horizontal, 0 ~ 12° rango variable de Tilt Eléctrico, configuración 2T4R.

Foto 3: Configuración antena AAU3910



Fuente: Archivo propio

Figura 48: Descripción antenna AAU3910



Fuente: Archivo propio

Tabla 7: Características AAU 3910

Item	AAU3910
DIMENSION	1450mmx320mmx230mm (include Plastic H) 1450mmx320mmx220mm (not include plastic H)
WEIGHT	1A: ~39.5kg 2A: ~54kg
EIRP	2*63.5dBm (1.8G)
	2*65.3dBm (2.1G/AWS)
	2*64dBm (2.6G)
DC power	-48V DC (-36V~-57V)

Fuente: Archivo propio

### 3.4.7. Metrajés

En esta parte del TSS se toma las medidas entre equipos, tales como:

- > Metraje de fibra óptica y cable de energía a utilizar entre la BBU y la RRU.
- > Metraje del cable de tierra entre la RRU y la barra de tierra.
- > Metraje del jumper, cable coaxial helicoidal de cobre 7/16'', entre la RRU y la antena.

Con esto se termina la toma de datos y se procede a elaborar el TSS que servirá como base para el personal de campo al momento de instalar el eNodoB.

### 3.4.8. Listado de materiales

Después de realizado el estudio de campo (TSS), se procede a realizar el listado de materiales sobre una plantilla, donde se agrega los metrajés tomados (fibra óptica, cable de energía, cable de tierra y cable coaxial) y la cantidad de equipos a utilizar (equipos Huawei que son: Antenas, RRUs, Gabinete y BBU). Luego de esto se entrega la plantilla al área de logística para que lo gestione, y lo envíe según cronograma cerrado con el proveedor.

El listado de materiales contiene lo siguiente:

- Materiales locales que se usarán para la estación VILLA\_EL\_SALVADOR, el cuadro muestra la lista de materiales.

Tabla 8: Lista de materiales locales

<b>Material</b>	<b>Foto</b>
Grasa conductiva	A
Etiquetas amarillas	B
Prensaestopas de 1 pulgada	C
Cintas Vulcanizantes	D
Conectores DIN	E
Cintas Aislantes	F
Conectores	G
Cable de Ethernet	H
Cable DB26	I
Cintillos banderitas	J
Cintillos blancos chicos	K
Cintillos blancos medianos	L
Cintillos negros medianos	LL
Cable de tierra	M
Cable de energía	M
Cable coaxial de 1/2	M
Clamps	N
Tubo conduit	O

Fuente: Elaboración propia

Foto 4: Materiales nacionales usados en la instalación



Fuente: Archivo propio.

Equipos Huawei que se usarán para la estación VILLA\_EL\_SALVADOR, el cuadro muestra la lista de materiales de equipos Huawei.

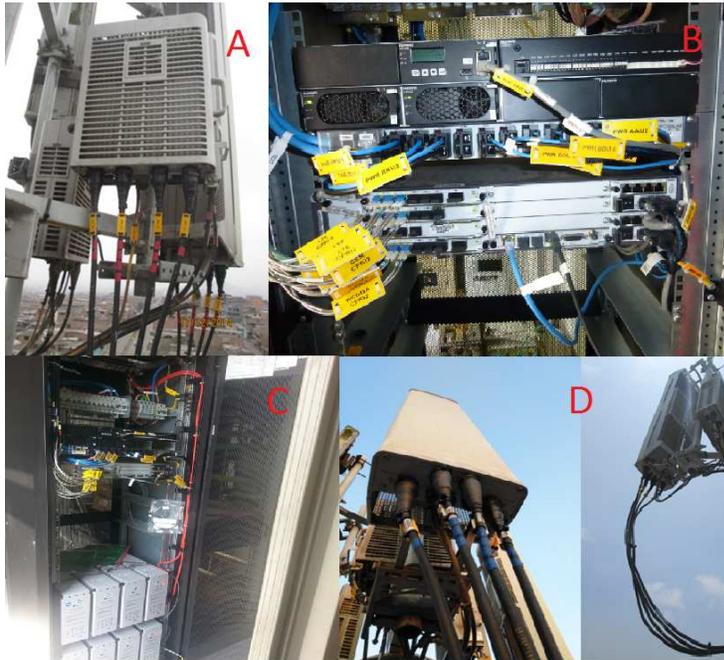
Tabla 9: Lista de materiales de equipos Huawei

Equipos	Foto
RRU 3942	A
BBU 3900	B
Gabinete	C
Antenas AAU 3910	D

Fuente: Archivo propio

La foto 5 muestra algunos de los equipos Huawei.

Foto 5: Equipos HUAWEI utilizados en la instalación



Fuente: Archivo propio

#### 3.4.9. Asignaciones de estaciones a cooperador

En paralelo a la gestión de retiro de materiales y cumpliendo con el cronograma, acordado entre ENTEL PERU y su cooperador (en este caso Huawei del Perú), se le asigna un listado de estaciones teniendo en cuenta los siguientes factores:

- > Cantidad de grupos disponibles por cada cooperador.
- > Calidad de trabajo realizado en anteriores instalaciones.

Luego de asignar la estación VILLA\_EL\_SALVADOR al cooperador para su implementación, se le solicita a Huawei que envíe el listado de personal que realizará el trabajo para sus respectivos permisos.

#### 3.4.10. Gestión de accesos

Para este caso se realiza la gestión de acceso a la estación VILLA\_EL\_SALVADOR. En este punto ya se tiene el comentario, puesto en el TSS, de cómo es el acceso a la estación (si es con llaves, si es con vigilante, está en un cerro, si es con carta, acceso especial, etc.).

En Lima y Callao se divide en 2 zonas geográficas, las cuales son: Sur y Norte. Cada zona está a cargo de un O&M que reporta al Jefe CRM, O&M Sitios y Acceso Red de Lima y Callao. Para solicitar el permiso de acceso a la estación se realiza lo siguiente:

- > Correo dirigido al O&M a cargo de la zona Sur, para el caso de la estación VILLA\_EL\_SALVADOR, copiando al Jefe CRM, O&M Sitios y Acceso Red de Lima y Callao y a las persona involucradas en el proceso, con la validación del O&M de zona se ingresa.
- > En el correo se debe adjuntar la plantilla de ingreso explicando el trabajo a realizar y la cantidad de días que va a tomar la implementación, también se adjunta el seguro de salud (S.C.T.R.) de cada persona que va a ingresar a la estación.

Luego de que se obtenga el acceso a la estación VILLA\_EL\_SALVADOR se coordina con el propietario el trabajo que se realizará.

### **3.5. PLAN DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS**

#### 3.5.1. Instalación NodoB

Luego de haber realizado todo lo descrito en líneas anteriores (listado de materiales, grupo disponible y listo para comenzar, gestión de accesos) se procede a comenzar la instalación del NodoB. Esta instalación debe durar como máximo 3 días y se sigue el siguiente procedimiento:

- > Llegada de materiales a la estación, el grupo de trabajo recibe los materiales en la estación y corrobora con la Guía de Remisión por si falta algo o llegue algo dañado; luego de esto la persona encargada da el visto bueno firmando la guía de remisión.
- > Inicio de Implementación: Luego de recibir los materiales, y verificarlos, se comienza con la instalación, el orden de cómo va instalando los equipos depende de cada grupo de trabajo (4 personas conforman el grupo de trabajo), regularmente comienzan poniendo la BBU en el gabinete de transmisiones, de eso se encarga una persona (foto 6), otras dos personas proceden a instalar las RRUs y las Antenas en la torre (foto 7), esto transcurre en el primer día de trabajo. En el segundo día de trabajo se instala la fibra óptica y el cable de energía (foto 8), se hacen los jumpers (con los conectores DIN) a medida y se colocan, se aterra las RRUs con el cable de tierra (foto 9) y se energiza la BBU. En el tercer día de trabajo se afinan los detalles de calidad y se comisiona la BBU. La instalación debe seguir el estándar de instalación dado por HUAWEI. Este estándar es un documento que se entrega a cada cooperador (este documento lo proporciona el área de calidad).

Foto 6: BBU+DCDU instalado en el gabinete de transmisión



Fuente: Archivo propio.

Foto 7: RRU + antenas + filtro instalados en torre



Fuente: Archivo propio.

Foto 8: Recorrido en torre de cables de energía y fibra óptica



Fuente: Archivo propio.

Foto 9: RRU aterradas a barra de tierra



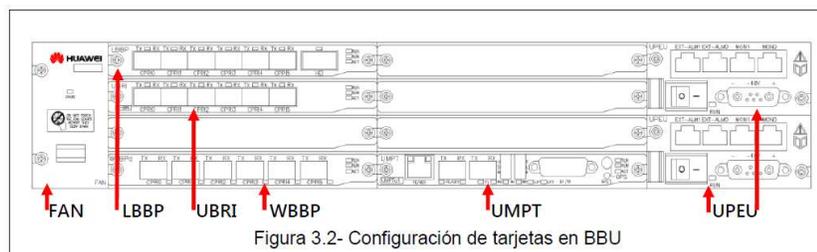
Fuente: Archivo propio.

> Comisionamiento de la BBU: Con la BBU ya instalada y energizada, se procede con el comisionamiento de la misma.

Al comisionar la BBU actualizas el software y se carga el script, esto se realiza conectando la laptop con la tarjeta UMPT, que es la controladora de la BBU.

El script es una plantilla base que la ejecuta el Ingeniero Wireless ingresa lo siguiente: el nombre de la estación, el IP de gestión, el IP del eNodoB, el Gateway (puerta de salida), el IP de mantenimiento y la VLAN, si es que fuera necesario, por donde pasaría el tráfico del nodo B. Una vez terminado el comisionamiento el personal en campo solicita, al implementador a cargo de la estación, la verificación de que el nuevo eNodoB instalado aparezca en el gestor. La figura 10 muestra la distribución de las tarjetas en la BBU:

Figura 49: Asignación de slots para tarjetas BBU3900 Modo LTE



Fuente: Estándar de Instalación GUL Entel MBTS3900

La foto 10 muestra las conexiones de las tarjetas de UMPT, con el PE-RAN CISCO ASR 9006, equipo encargado de la Agregación del eNodoB.

La asignación de los puertos la realiza el área de Ingeniería Transmisión.

Foto 10: Equipo PE-RAN CISCO ASR 9006



Fuente: Archivo propio

La foto 11 muestra las conexiones de los puertos ópticos del PE-RAN CISCO ASR 9006 con el equipo ALCATEL DWDM 1830PSS-32, encargado de darle la Transmisión por Planta Externa al eNodoB.

Esta asignación de los puertos la realiza el área de Ingeniería Core en conjunto con el área de Datacomm.

Foto 11: Equipo DWDM y patch panel



Elaboración: Archivo propio

En el ANEXO 7 se da mayor información sobre lo que comprende la implementación del PE-RAN CISCO ASR 9006 con el equipo ALCATEL DWDM 1830PSS-32.

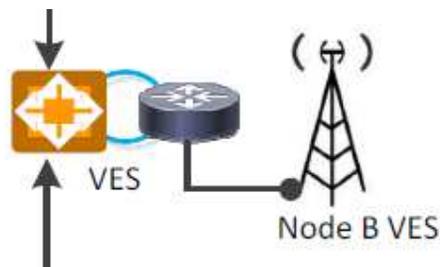
- > Adhesión del eNodoB: Para adherir el eNodoB VILLA\_EL\_SALVADOR al gestor U2000 se realiza lo siguiente:
  - El Ingeniero Wireless debe crear el nuevo eNodoB VILLA\_EL\_SALVADOR en el gestor U2000, esto lo realiza cuando termina el script del nuevo eNodoB.
  - Todos los parámetros dados por Ingeniería RF (para la configuración del eNodoB en el gestorU2000 y para realizar el script) deben estar correctos.
  - Que el script realizado por el Ingeniero Wireless este bien hecho.

- La Transmisión debe estar lista.

Cuando se haya cumplido las cuatro condiciones, sobre todo la última, el nuevo eNodoB VILLA\_EL\_SALVADOR está listo para ser adherido al gestor. En condiciones perfectas el nuevo eNodoB VILLA\_EL\_SALVADOR, después de terminada la instalación y con la BBU comisionada, debería ser visto desde el gestor U2000 por el Ingeniero Wireless para su respectiva adhesión. Una vez adherido al gestor el nuevo eNodoB VILLA\_EL\_SALVADOR se pediría la puesta al aire de la estación por el implementador a cargo.

En el ANEXO 8 se detalla toda la Red Super Core y adicionalmente se agrega el ANEXO 9, Estándar de Instalación GUL Entel.

Figura 50: Conexión con el NodoB VILLA\_EL\_SALVADOR



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2. Puesta al aire de un NodoB

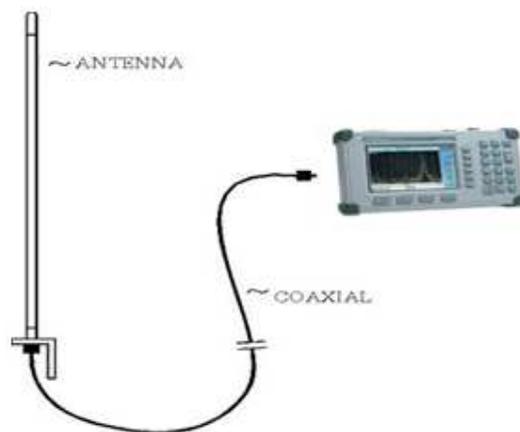
Para solicitar la puesta al aire del nodo B, se necesita cumplir con ciertos requisitos que ENTEL PERU solicita, que son:

- > Que no exista ninguna alarma.
- > El ROE (VSWR) debe ser menor a 1.3 (que significa que la cantidad de potencia reflejada en el transmisor tiene que ser menor o igual a ese valor por estándar

manejado por ENTEL PERU), esto se verifica vía software primero y si es mayor a 1.3 se verifica en campo.

> El circuito para la medición de ROE es el que sigue: Antena>Jumper que va conectado entre la antena y la RRU>equipo de medición (equipo Anritsu). La figura 51 muestra el circuito descrito.

Figura 51: Sistema de medición de ROE



Fuente: Elaboración propia

> Las adyacencias, 4G/ 4G (entre celdas de un mismo eNodeB y entre celdas de otros eNodeB), 3G/ 3G (entre celdas de un mismo nodo B y entre celdas de otros nodos B) y 3G/2G (para el handover), deben estar creadas (por ENTEL PERU) y ejecutadas en la RNC (por el ingeniero Wireless).

Se debe cumplir esos requisitos para poder solicitar la puesta al aire a ENTEL PERU.

### 3.5.3. Aceptación de la estación (ATP)

Para poder realizar el ATP (aceptación de los equipos instalados) se necesita tener el eNodeB adherido al gestor (no necesariamente OnAir) para realizar algunas pruebas que manda el protocolo. El ATP es un documento donde se encuentra descrito todas las

pruebas que se tienen que realizar, tanto a la parte física de la instalación como al software del eNodoB VILLA\_EL\_SALVADOR.

Este protocolo fue un cerrado en acuerdo entre Implementación ENTEL PERU, el Área de Operaciones y Mantenimiento ENTEL y HUAWEI, el Área de Calidad, para poder aceptar los equipos instalados y verificar el correcto funcionamiento del eNodoB.

El ATP tiene dos partes:

> La parte física que contiene los siguientes ítems:

El tipo de estación, tipo de torre, equipos y gabinetes instalados, donde está instalado las RRUs, donde se instaló la BBU, cuantos sectores se han instalado e inspección de la instalación (instalación de RRUs según TSS, instalación de cable de energía, instalación de cable de tierra, pruebas de correspondencia que sirve para determinar que las fibras ópticas y el cable de energía no estén cruzadas con otros sectores, el voltaje del breaker (llave termo magnética) que alimenta a las RRUs y la BBU, azimuths y tilts según TSS).

> La parte software que contiene los siguientes ítems:

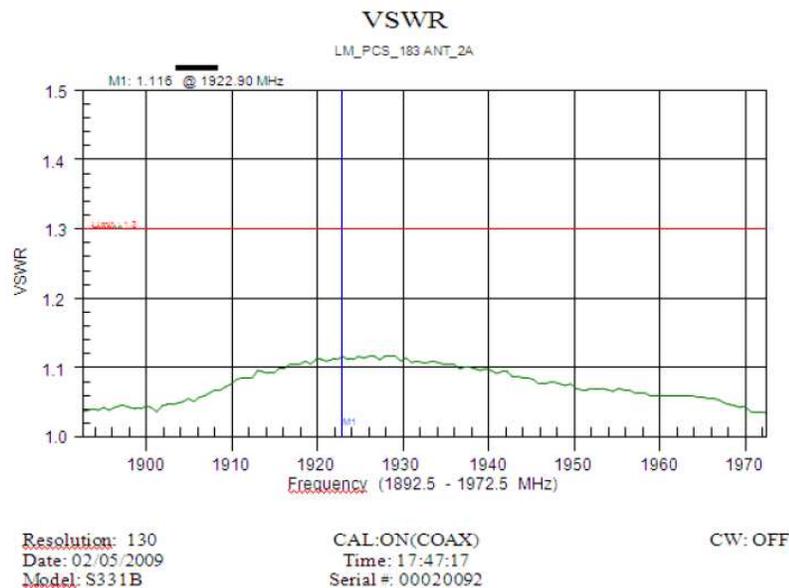
Pruebas de comunicación local, pruebas con el Gateway de ENTEL, verificar parámetros de funcionabilidad con el Local Maintenance Terminal (LMT) (donde se verifica IP de mantenimiento, IP de nodo B, IP de Gateway, se realiza pruebas de conectividad, versión de software, números de serie de la BBU y las RRUs); también se verifica, con el LMT, el ROE y la potencia transmitida por celda.

El ATP se realiza en coordinación con un Ingeniero de Implementación ENTEL (se comunica la fecha de término de la instalación) y con Huawei.

Ya establecida la fecha de ATP, si no se cumple con la visita pactada, se procede con el ATP remoto. El ATP remoto consiste en realizar las pruebas correspondientes, tanto en software como en hardware, sin la presencia de Implementación ENTEL. Para esto se hace un reporte fotográfico de toda la estación, se realiza la medición de ROE (VSWR) y Potencia, y se graba un log de comisionamiento (donde aparecen todos los parámetros solicitados). Con todo esto, el cooperador realiza el reporte, que consta de 7 entregables, y se lo presenta para su respectiva revisión.

La figura 52 muestra la medición de ROE del puerto de transmisión del primer sector de la estación VILLA\_EL\_SALVADOR.

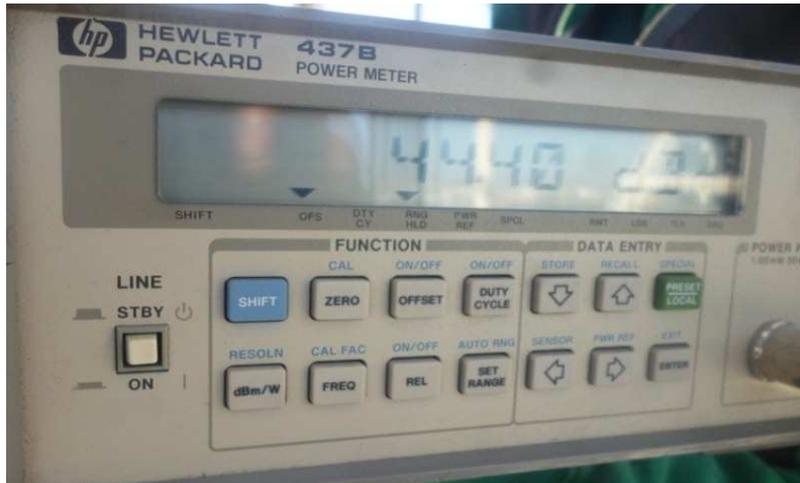
Figura 52: Medición de ROE (VSWR)



Fuente: Archivo propio

La foto 12 muestra la medición de la potencia del primer sector de la estación VILLA\_EL\_SALVADOR.

Foto 12: Potencia del 1er sector de la estación VILLA\_EL\_SALVADOR



Fuente: Archivo propio

#### 3.5.4. Cierre de una estación

Para poder cerrar una estación se necesita tener la estación limpia y sin alarmas, en algunos casos esto puede tomar más tiempo de lo establecido pues no siempre ocurre.

Se detallan algunos casos:

Cuando es ATP remoto:

> El reporte entregado por el área de calidad debe estar completo, esto quiere decir que toda la información solicitada debe estar en el Site Folder. De no ser así se retorna la información y se solicita al cooperador que subsane el error máximo en 48 horas. Luego de esto se vuelve a revisar para verificar si está completa la información.

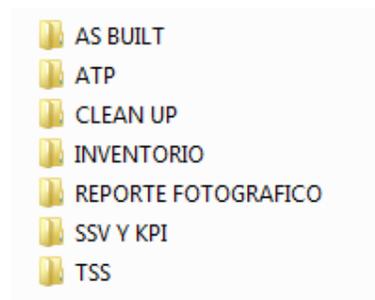
> Una vez completado el Site Folder se comienza con la revisión del reporte fotográfico, donde se observa toda la instalación y su acabado. Las fotos deben mostrar que la implementación está dentro del Estándar de Instalación, si es que se encontrara algún desperfecto en la foto presentada, sobre la implementación, se le informa al cooperador que tiene que arreglar el error de instalación y esto tiene que ser subsanado máximo en 48 horas. Luego se revisa las mediciones de ROE y Potencia, se revisa el inventario de los equipos instalados y la firma de la persona que realizo el ATP remoto.

Cuando es ATP presencial:

> Se presenta las 4 últimas hojas firmadas sin ningún pendiente de instalación. Si es que un Ingeniero de Implementación encuentra algún desperfecto o algo no está acorde con el Estándar de Instalación, lo observa en la hoja de “Pending List”, este pendiente tiene que arreglarse durante el ATP o realizar una nueva visita.

La figura 53 muestra las carpetas a presentar.

Figura 53: Carpetas a presentar solicitadas por HUAWEI



Fuente: Elaboración Propia

Una vez subsanado todos los errores que se puedan encontrar en la instalación, el Ingeniero de Calidad Huawei da el visto bueno y con esto se da por concluida la instalación y puesta al aire del eNodoB VILLA\_EL\_SALVADOR. Luego de esto el

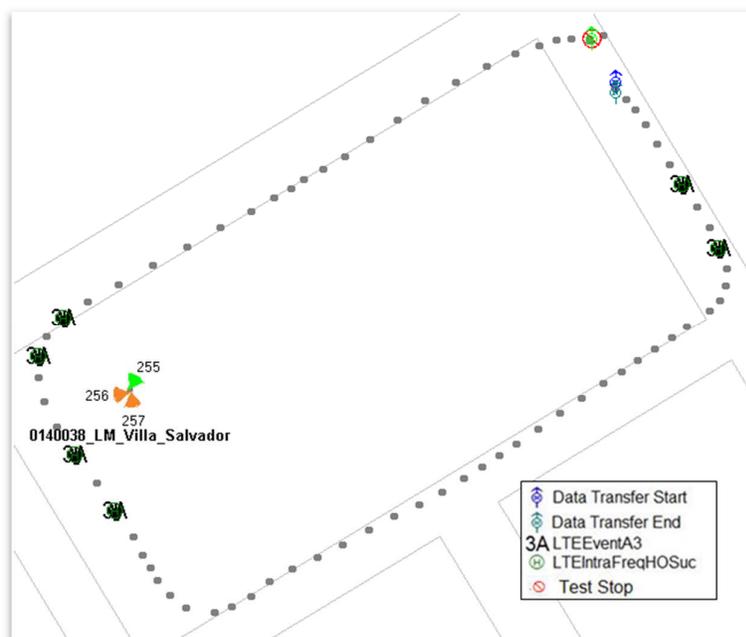
Ingeniero de Calidad Huawei prepara la información, en digital, y se le entrega al Área de Implementación para su validación, más detalle en el ANEXO 10.

### 3.5.5. Initial tuning – Operaciones RAN

En esta etapa el eNodoB ya está al aire, pero sin pruebas, esto significa que se deben hacer pruebas necesarias comprobando que todos los parámetros que se propusieron en la etapa de Network Planning sean los correctos, luego de descartar algún problema por medio del Single Site Verification (SSV) el eNodoB entra al aire ya verificado.

Luego de proceder a realizar el Drive Test, ver figura 91 referencial, en donde se recolecta toda la información para determinar si los niveles de calidad de cobertura pasan el valor target exigido por ENTEL PERU, para nuestro caso los targets a cumplir son para  $E_c/I_o$  y RSCP  $\geq 95\%$ .

Figura 54: Plot  $E_c/I_o$  – Drive Test



Fuente: SSV Huawei

Para saber si se cumplió con el target para Ec/Io y RSCP se emplean las siguientes fórmulas:

$$\%T \text{ arg et}(Ec / Io) = \frac{Muestras \geq -12dB}{Total\_Muestras}$$

$$\%T \text{ arg et}(RSCP) = \frac{Muestras \geq -88dBm}{Total\_Muestras}$$

El Drive Test que se realizó arroja valores de muestras del 93.06% para el Ec/Io y 99.44% para el RSCP, E para el Ec/Io no se logró cumplir con el target, la forma de mejorar el performance Ec/Io para el recorrido del drive test será empleado la siguiente etapa llamada Optimización.

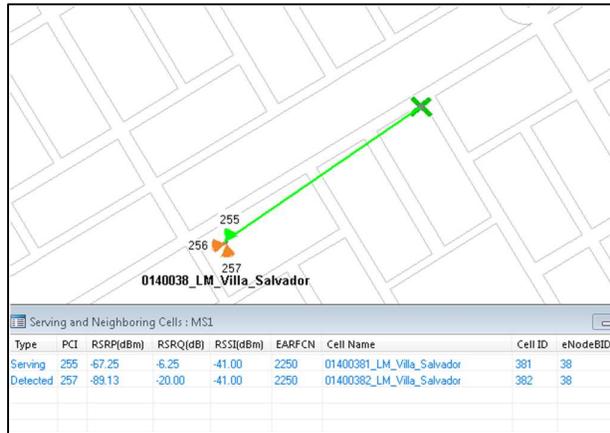
### 3.5.6. Optimización de red de acceso

En esta etapa se hace ajustes en los parámetros de las antenas para mejorar el performance del recorrido del drive test. Para este caso, en la estación VILLA\_EL\_SALVADOR los cambios para optimización que se aplicaron fueron tilt eléctrico remoto (RET) propio de las antenas AAU3910 de Huawei.

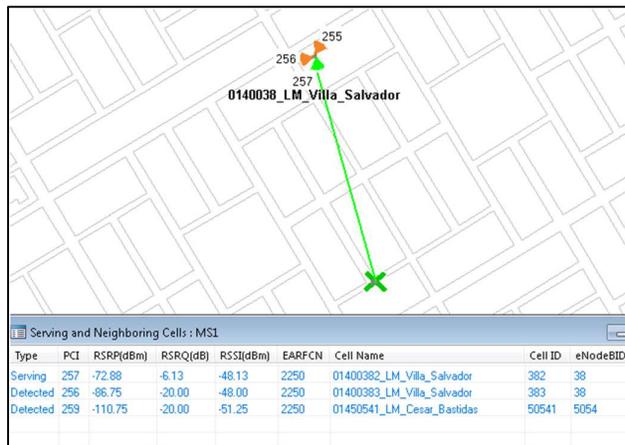
Luego que se apliquen estos cambios se realiza un nuevo drive test para ver el impacto causado por los cambios en los parámetros de las antenas, en la figura 55 se puede observar cómo queda el plot Ec/Io teniendo un porcentaje de nuestras mayores al 95%, con esto se alcanza el objetivo de mejorar la calidad de cobertura en la zona de afectación presentada.

Figura 55: SSV con cambios – Drive Test

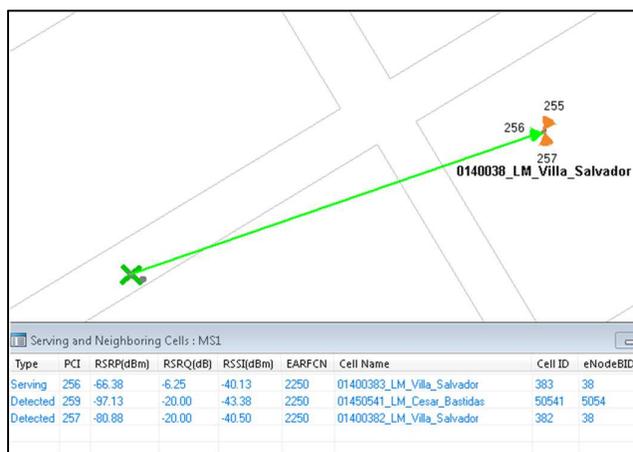
Sector #1



Sector #2



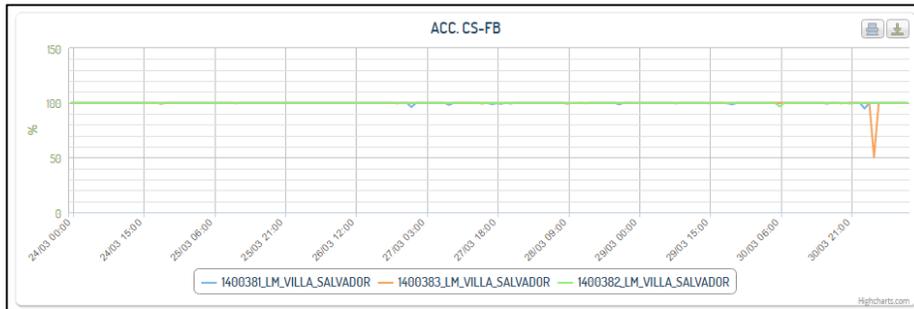
Sector #3



Fuente: SSV Huawei

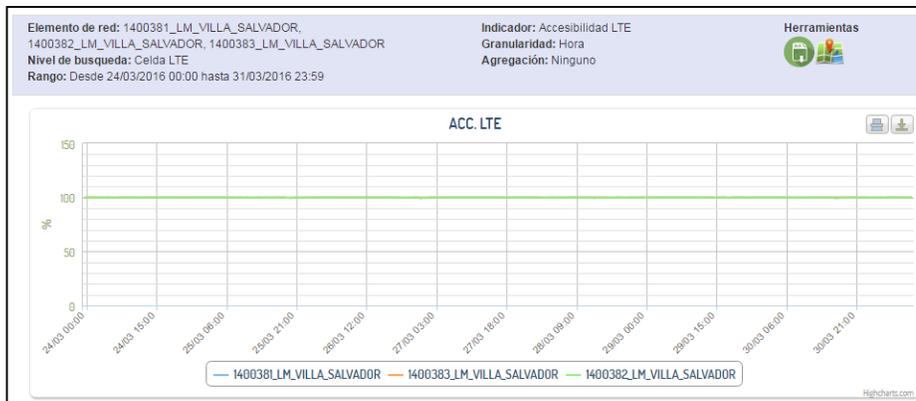
Para cumplir con el segundo objetivo de mejorar el congestionamiento por potencia se muestra a continuación las gráficas de los KPIs para uso de potencia promedio y el tráfico total por día de las celdas de la estación VILLA\_EL\_SALVADOR.

Figura 56: Accessibility CS-FB



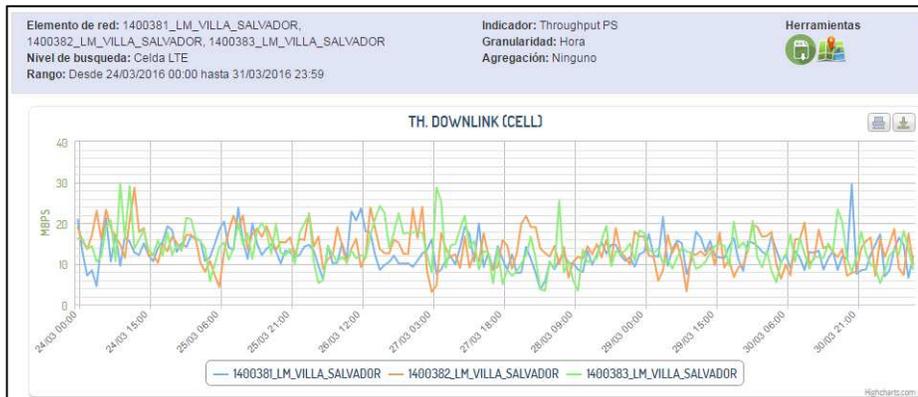
Fuente: SSV Huawei

Figura 57: Accessibility LTE



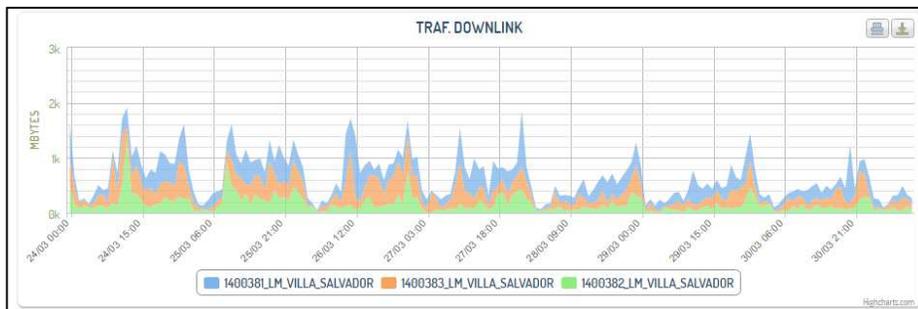
Fuente: SSV Huawei

Figura 58: Throughput PS



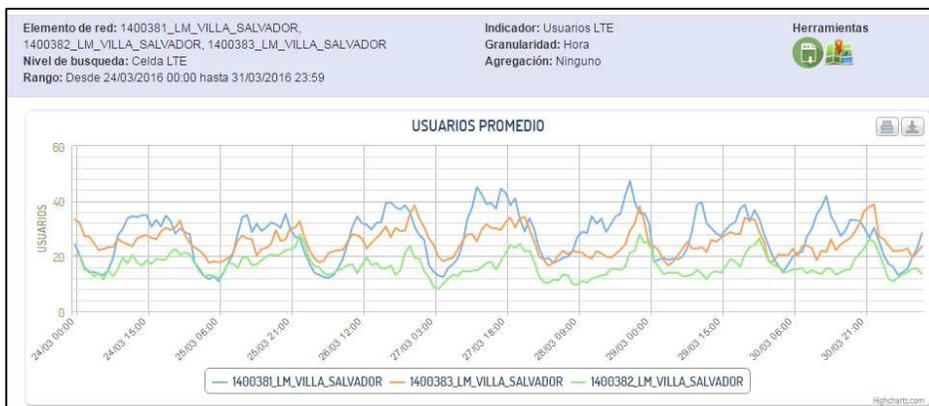
Fuente: SSV Huawei

Figura 59: Traffic Downlink



Fuente: SSV Huawei

Figura 60: Usuarios LTE



Fuente: SSV Huawei

### 3.6. GASTOS ESTIMADOS

Para la ejecución de este proyecto, se ha estimado algunos costos que se vienen manejando en el mercado actual.

La prioridad es brindar el servicio de implementación del eNodoB, se presentarán solo los costos propios de la implementación de un eNodoB más no el costo de los equipos, los cuales no entran en este análisis por pertenecer a otra área de ENTEL PERU (Compras y Logística).

La mano de obra y materiales se presentan según la siguiente de precios:

Tabla 10: Costos estimados

Nodo

1	<p>NODOS: INSTALACION SISTEMA RADIANTE 3G/GSM/LTE ANTENA AAU INTEGRADA, RRU, TRISECTOR, GABINETES, LINEAS.</p> <p>(Se incluyen consumibles, movilidad, viatico, artículos de ferretería, traslado de material al sitio, retiro de material de bodega, transporte, camioneta 4x4devolución de excedentes en bodega, vulco, conduit, fijaciones, etiquetas, bodegaje propio). Conforme a EETT Entel. Todo lo necesario para la ejecución del</p>	<p><b>0130038_LM_Villa_Salvador</b></p>
---	--	---

	trabajo.		
	(Incluye registro en todos los sistemas de Entel establecidos para control de actividades)		
	Descripción	Cantidad	Precio
1.1	Instalación de Antena, Incluye cableado FO, DC power, jumper de feeders entre antena y RRU, aterramientos, fijaciones, sellado, conduit. De acuerdo a EETT Entel	4	PEN 8,316.00
1.2	Instalación de RRU, Incluye instalación de FO y DC power, jumper a RRU, consumibles, fijaciones, sistemas RET, conexionado, conduit, montaje y conexionado de RRU's internas, sellado. De acuerdo a EETT Entel.	4	PEN 6,174.00
1.3	Instalación y comisionamiento de equipo BBU multi tecnología 3G/GSM/LTE en gabinete Outdoor/Indoor, incluye cableado alarmas, PDU, etiquetado, energizado DC, cable Ethernet, aterramiento, instalación de módulos multi tecnología, (incluye todo el conexionado)	1	PEN 945.00

1.4	Servicios de ATP en estación base 3G/GMS/LTE, power plant implementados, pruebas de SSV multitecnología de voz y datos, prueba de alarmas internas y de entorno. Se incluye reporte fotográfico, impresión de reporte de ATP y entrega de reporte de ATP completado. (Site Folder)	1	PEN 1,512.00
		Sub-Total	PEN 16,947.00
		Factor Zona	1.00
			PEN 16,947.00

## Gabinete

	NODOS: INSTALACION SISTEMA RADIANTE 3G/GSM/LTE ANTENA AAU INTEGRADA, RRU, TRISECTOR, GABINETES, LINEAS.	
2	(se incluyen consumibles, movilidad, viatico, artículos de ferretería, traslado de material al sitio, retiro de material de bodega, transporte, camioneta 4x4 devolución de excedentes en bodega, vulco, conduit, fijaciones, etiquetas, bodegaje propio). Conforme a EETT	<b>0130038_LM_Villa_Salvador</b>

	Entel. Todo lo necesario para la ejecución del trabajo.		
	(Incluye registro en todos los sistemas de Entel establecidos para control de actividades)		
	Descripción	Cantidad	Precio
2.1	Instalación y montaje de gabinete, incluye rectificador y 2 bancos de baterías, módulos de control y energía, energizado AC, conduit, alarmas, aterramientos, fijaciones, anclajes, etiquetados, pruebas de funcionalidad. De acuerdo a EETT Entel.	1	PEN 2,425.50
2.2	Instalación de accesorios + BB, Incluye instalación de 02 banco de batería, anclaje, fijación etiquetados, kit de vinculación con gab. Rectificador, cableado alarmas, cableado DC de fan y aterramiento.	1	PEN 1,606.50
	Sub-Total		PEN 4,032.00
	Factor Zona		1.00
			PEN 4,032.00

Fuente. Elaboración propia.

En total se gastó en la implementación del eNodoB VILLA\_EL\_SALVADOR, de acuerdo a la Tabla 11, la cantidad detallada en la siguiente tabla:

Tabla 11: Total precios

<b>Item</b>	<b>Cantidad</b>	
Inst. Nodo	PEN	16,947.00
Inst. Gabinete	PEN	4,032.00
<b>TOTAL</b>	PEN	20,979.00

Fuente. Elaboración propia.

## CAPITULO IV: RESULTADOS

- > Luego del cambio de equipamiento en el nodo, gracias al drive test vemos que los niveles de calidad de cobertura pasan por el target exigido por Entel Perú, para nuestro caso el target a cumplir es para Ec/Io y RSCP  $\geq 95\%$  y este performance se logra gracias a la optimización de red de acceso.
- > Luego de verificar la correspondencia entre los scrambling codes (SC) y los azimuth de los sectores del nodoB de acuerdo al datafill podemos ver el mejoramiento de potencia promedio y el tráfico total por día de las celdas de la estación VILLA\_EL\_SALVADOR.
- > Vemos que al realizar el swap de antenas (renovación tecnológica) por la frecuencia que se utiliza en la banda AWS (1700 ~ 2100 Mhz) contamos con más alcance en cobertura de red por el comportamiento del espectro licitado.
- > Respecto a la calidad de cobertura, Entel Perú presenta mejores niveles y mantiene una amplia brecha sobre la competencia.
- > En términos del transporte, anteriormente el nodoB llegaba al Core de la red a través de MMOO (microondas) ahora, se conecta a la red de transporte por el equipo agregador PE-RAN que converge con la tecnología DWDM llegando al SuperCore de la red, brindándole la transferencia de información basada en paquetes con garantía de calidad de servicio de extremo a extremo.
- > Al cierre del 2014, los primeros resultados tras el ingreso de Entel Perú mostraron un nuevo panorama de participación en el mercado de telefonía móvil con un 6.4% del total (1 millón 910 mil líneas entre nuevas). Este resultado profundiza la tendencia que mostró la telefonía móvil entre el 2012 y el 2013, cuando el ritmo de crecimiento de celulares operativos fue de 2% (580 mil líneas).

- > La inversión del 2014 que se realizó para el swap de tecnologías ascendió a USD 287 millones (CAPEX), principalmente para renovar y hacer crecer la red de voz y datos 2G/3G/4G. Durante este tiempo transcurrido se ha podido desplegar red, torres y la infraestructura necesaria; la regulación promueve la inversión y la competencia; existe disponibilidad de espectro; se ha podido expandir la red de canales comerciales y hay espacio para ofertas de estructura novedosa y disruptiva, tal fue el efecto en ese momento que más de 87 mil clientes nos privilegiaron y se cambiaron a Entel Perú desde que en julio 2014 se redujo la portabilidad a 24 hrs.

## CAPITULO V: DISCUSIÓN

- > Para obtener un buen nivel de calidad de cobertura, la renovación tecnológica de un nodoB no debe obviar el inicial tuning ni la optimización de red de acceso para que la aceptación de este trabajo sea mucho más rápido.
- > Al realizar la optimización de señal, por el uso de frecuencia que se maneja (AWS) el mejoramiento de potencia promedio no debe interferir con las vecindades creadas en el nodoB para que éste sea puesto en operatividad rápidamente.
- > La mejora que tiene esta nueva red también es el transporte, la agregación y la red Super Core que le da un valor agregado en la transferencia de datos punto a punto.
- > La compañía gana posicionamiento en el mercado de telefonía móvil gracias a su estrategia de negocio sentada en una buena infraestructura, sin ello no pudiera tener aceptación de los clientes y los nuevos clientes, rompiendo barreras de manera sostenible, económicamente hablando, ofreciendo nuevos servicios y brindando calidad de servicio en venta y post venta.
- > La nueva inversión que se realiza también es en nueva red, torres y en infraestructura, tanto en Lima como en provincia, llegando estratégicamente a capitales de provincia para luego desplegarse en zonas suburbanas y rurales.

## CONCLUSIONES

- > Para presupuestar la bolsa de dinero que tenemos utilizar en nuestra implementación tenemos que realizar las cotizaciones reales en el mercado local, de lo contrario estaríamos estimando costos los cuales pueden ser un riesgo en caso el trabajo se extienda, considerando esto en días adicionales y en el no cumplimiento del cronograma del proyecto.
- > Según metodología del PMI, antes de empezar un proyecto debemos de registrar los posibles riesgos que pudiéramos afrontar, para nosotros es importante que el levantamiento de información sea 100% valedero por parte de nuestra cooperadora asignada para realizar los trabajos, ya que con esto podemos tener un panorama muy amplio a lo que nos enfrentamos, me refiero netamente a la Implementación.
- > En la actualidad se llevan cursos de Seguridad y Salud en el Trabajo obligatorios para todos los trabajos que se desempeñen dentro de la empresa, esto es imperativo para todos los cooperadores, sin distinción, ya que conlleva a tener un orden en cuanto a Seguridad con nuestro cooperador en campo.
- > Para cumplir con los tiempos en el cronograma de Implementación, los datos técnicos dentro del DF (datafill) entregado por Ingeniería RF deben de estar correctamente verificados, para no tener retrasos durante la instalación.
- > Luego de todo cambio físico realizado en la estación en cuanto a Wireless se debe realizar las pruebas de drive test para poder optimizar de mejor manera el servicio a brindar.
- > El cooperador debe tener bien en claro que los tiempos de entrega de documentación (Site Folder) no puede exceder más de 5 días calendario una vez

terminada la implementación, de lo contrario esto puede verse afectado en la facturación del mismo cooperador.

## RECOMENDACIONES

- > Se debe mejorar la selección de terceros cooperadores, pues en muchas ocasiones estos cooperadores cambian de personal rápidamente, con gente que no es experta en el rubro de las Telecomunicaciones, lo cual nos lleva a tener retrasos en la implementación.
- > Los cooperadores deben estar homologados en seguridad con Entel Perú, esto para evitar eventualidades en el proceso de implementación.
- > No se debería ver afectado el cronograma de implementación por contratiempos del mismo cooperador.
- > Se debería seguir una proyección para la disponibilidad de espacios en sala y torres para tecnologías nuevas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Las fuentes en las que referí el desarrollo del tema, corresponden a artículos revisados en sitios web, papers y Tesis:

Artículos y Papers

[1] Nokia Telecommunications Oy. “SYSTRA–Training Material”. Nokia Telecommunications Oy 1998

[2] 3GPP LTE. Documento: “3GPP LTE – Long Term Evolution”. Junio.2010.

URL: <http://3gpplte-longtermevolution.blogspot.pe>

[3] MARCANO, DIÓGENES. “LTE – Long Term Evolution”. Lima. 2010.

[4] SCRIBD. Documento: “LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles”. 2011.

URL: <http://es.scribd.com/doc/60165166/11/Arquitectura-del-sistema-LTE>

[5] 3GPP LTE. Documento: “3GPP LTE - Evolved UTRA - Radio Interface Concepts”.

URL: <http://ecee.colorado.edu/~ecen4242/LTE/radio.htm>

[6] F5 NETWORKS, INC. Documento: “Introduction to the IP Multimedia Subsystem (IMS): IMS Basic Concepts and Terminology”.

URL: <http://www.f5.com/pdf/white-papers/ims-introduction-wp>

[7] Documento: “IMS IP Multimedia Subsystem Tutorial”.

URL: <http://whytelecom.com/content/ims-ip-multimedia-subsystem-tutorial>

[8] Telefónica. Artículo: “Integración de infraestructuras Mediante NGN”.

URL: <https://telos.fundaciontelefonica.com/>

[9] ITU-T Recommendation Y.2001 “SERIES Y: GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS AND NEXT-GENERATION NETWORKS”. 2004.

[10] ITU-T, “NGN FG Proceedings Part I”. 2005.

[11] ZAMORA, JOSÉ. Artículo: “NGN (Next Generation Networks): Mitos, realidades y posibilidades “. 2005.

[12] GONZALES SOTO, OSCAR. Presentación: “Concepto y Arquitectura de las redes NGN”. Seminario regional sobre Costes y Tarifas para los países miembros del Grupo TAL, UIT. Río de Janeiro, Brasil. Mayo 2006.

[13] ITU-T, “NGN FG Proceedings Part II”. 2005.

[14] MARTÍNEZ HELLÍN, AGUSTÍN; LÓPEZ ALMANSA, EUGENIO; RUEDA GARCÍA, JAVIER. “Arquitecturas de Redes de Nueva Generación: decisiones estratégicas”. Alcatel, España. 2002.

[15] VILCHEZ, LUIS. Artículo: “Redes NGN”. Blog TRIBYTE – Tecnología para el mundo. Octubre 2008.

URL: <http://tribyte.blogspot.com/2007/10/redes-ngn.html>

[16] ACTERNA, “Dense Wavelength Division Multiplexing Pocket Guide”.  
[www.acterna.com](http://www.acterna.com)

[17] FUERTES RIVERA Pablo Segundo, “Estudio y diseño de un backbone de fibra óptica para un carrier con tecnología DWDM y soporte GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching), Tesis EPN, Pág. 10.

- [18] ELSENPETE Robert C., VELTE Toby J., Optical Networking: A Beginner's Guide, McGraw-Hill, EE. UU. 2002, pag. 14.
- [19] Optical Communications Essentials, McGraw-Hill, EE.UU. 2004, [www.digitalengineeringlibrary.com](http://www.digitalengineeringlibrary.com), pag. 10.
- [20] GUMASTE, Ashwin; ANTHONY, Tony, DWDM Network Desings and Engineering Solutions, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2002.
- [21] CISCO PRESS, Introduction to DWDM Technology, Indianápolis-USA, 2000, Customer Order Number: Text Part Number: OL-0884-01, pag. 2-10
- [22] CISCO PRESS, Introduction to DWDM Technology, Indianápolis-USA, 2000, Customer Order Number: Text Part Number: OL-0884-01, pag. 2-11
- [23] CISCO PRESS, Introduction to DWDM Technology, Indianápolis-USA, 2000, Customer Order Number: Text Part Number: OL-0884-01, pag. 3-9

**ANEXOS**

## **ANEXO 1**

## **ANEXO 2**

### **ANEXO 3**

## **ANEXO 4**

**ANEXO 5**

## **ANEXO 6**

**ANEXO 7**

**ANEXO 8**

**ANEXO 9**

**ANEXO 10**