

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRONICA



DISEÑO DE UNA RED UMTS-HSDPA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA USANDO LA BANDA DE 900 MHZ

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES**

PRESENTADO POR:

WALDO KEHUARUCHO RAMIREZ

**PROMOCIÓN
2004-II**

**LIMA, PERU
2009**

**DISEÑO DE UNA RED UMTS-HSDPA EN LA CIUDAD DE
AREQUIPA USANDO LA BANDA DE 900 MHZ**

Dedicatoria
A mis Padres.

SUMARIO

El presente proyecto de tesis consiste en desarrollar un análisis de los diferentes factores que intervienen en el diseño de una red de acceso empleando la tecnología UMTS-HSDPA. El lugar elegido para el despliegue de dicha red es Arequipa Metropolitano debido a que presenta interesantes características de desarrollo que motivan al estudio de este mercado. Como todo proyecto de telecomunicaciones, se realiza un estudio previo de los principales operadores en dicha localidad para después fijar un mercado meta acorde con la realidad del mercado actual. A lo largo de la tesis se plantean varias inquietudes que finalmente serán resueltas en el capítulo más importante del presente trabajo, en el cual se presenta toda la ingeniería del proyecto aplicando los conceptos básicos de planificación de redes de telecomunicaciones. En la parte final de la tesis se propone un interesante caso de negocio para un escenario como el de Arequipa Metropolitano.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	2
EL PROBLEMA.....	2
1.1 Formulación del Problema.....	2
1.2 Hipótesis	2
1.3 Objetivos	2
1.4 Alcances y Limitaciones	2
1.5 Metodología	3
CAPITULO II.....	4
MARCO TEORICO.....	4
2.1 Panorama General de WCDMA	4
2.1.1 Desarrollo de las Comunicaciones Móviles	4
2.1.2 Organismos de estandarización	6
2.1.3 Tipos y diferencias de Sistemas 3G	6
2.1.4 Espectro de frecuencia en 3G	9
2.2 Servicios en WCDMA.....	11
2.2.1 Categorías y Características de los servicios 3G.....	11
2.2.2 Servicios Inteligentes - CAMEL fase 3.....	11
2.2.3 Servicios de Localización	12
2.2.4 Servicios Multimedia.....	14
2.2.5 Otros Servicios Típicos.....	14
2.3 Estructura del sistema WCDMA	15
2.3.1 Introducción.....	15
2.3.2 Elementos de una red UMTS	16
2.3.3 Estructura Básica de UTRAN	18
2.3.4 Estructura Básica de la Red Central (CN – Core Network).....	23
2.4 Principios Tecnológicos del WCDMA	23
2.4.1 Receptor Rake	23
2.4.2 Principios de Diversidad de Recepción	24
2.4.3 Codificación de canal	24
2.4.4 Código Convolucional.....	25
2.4.5 Turbo Código.....	26
2.4.6 Tecnología de detección de multiusuario.....	26
2.4.7 Control de Potencia	27
2.5 Interface Aire en WCDMA	28
2.2.2 Spreading y Código Scrambling	28
2.5.2 Técnicas de modulación de espectro ensanchado	29
CAPITULO III.....	31
DETERMINACION DEL MERCADO POTENCIAL.....	31
3.1 Aspectos Socio-Económicos	31
3.1.1 Datos Generales	31
3.1.2 Población Demográfica	32
3.1.3 Crecimiento Urbano.....	33
3.2 Principales servicios de telecomunicaciones en Arequipa	34
3.2.1 Telefonía Fija.....	34

3.2.2	Telefonía Móvil	35
3.2.3	ADSL.....	36
3.3	Determinación del Mercado Potencial	37
3.3.1	Evaluación de escenarios de Demanda Potencial	38
3.3.2	Elección del escenario a estudiar	42
3.4	Principales productos a ofrecer con el UMTS – HSDPA.....	42
3.4.1	Paquete Básico	43
3.4.2	Paquete de Datos.....	45
CAPITULO IV		47
INGENIERIA DEL PROYECTO		47
4.1	Ubicación de la demanda.	47
4.2	Diseño de Red.....	48
4.2.1	Determinación del numero de Nodos B	48
4.2.2	Diseño de la Red Central	56
4.3	Topología de la red	69
4.3.1	Red de cobertura de acceso.....	70
4.3.2	Red de transporte.....	82
4.4	Especificaciones técnicas del equipamiento.....	86
4.4.1	Equipamiento para la red de acceso	86
4.4.2	Equipamiento para el subsistema de conmutación.....	88
4.4.3	Equipamiento para la red de transporte.....	88
4.5	Infraestructura del proyecto.....	89
4.5.1	Soporte de Red	89
4.5.1	Subsistema de protección	90
4.5.2	Subsistema de energía.....	91
CAPITULO V		93
EVALUACION ECONOMICA		93
5.1	Costos de Inversión.....	93
5.1.1	Red de acceso	93
5.1.2	Red Central	94
5.1.3	Red de transporte.....	94
5.2	Costos de operación.....	95
5.3	Flujo de caja del proyecto.....	96
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		97
ANEXOS		128
BIBLIOGRAFÍA.....		128

INTRODUCCIÓN

Los servicios de telecomunicaciones en la actualidad son cada vez más eficientes, prueba de ello es la constante evolución de las diferentes tecnologías y el desarrollo de otras nuevas que permiten estar a la altura de las exigencias tecnológicas. La industria de las telecomunicaciones ha puesto principal atención en el despliegue de las redes inalámbricas de altas velocidades y en especial en el despliegue de las redes de tercera generación como una alternativa para la red de acceso. El objetivo principal de la presente tesis es presentar el diseño de una red 3G UMTS - HSDPA para Arequipa Metropolitano. Con esto se pretende demostrar las diferencias en cuanto a la calidad de servicio, las tasas de transmisión, los costos de instalación, operación y mantenimiento, entre otros parámetros, en comparación con las redes actuales. En el segundo capítulo nos muestra el marco teórico de la tesis cuya referencia principal son las especificaciones 3GPP para UMTS. El tercer capítulo nos muestra un análisis demográfico de la zona y el estado actual de las telecomunicaciones en dicho lugar y se realiza una estimación del mercado meta para posteriormente definir los servicios que se ofrecerán una vez realizado el despliegue de la red de acceso. El cuarto capítulo nos muestra toda la ingeniería del proyecto aplicando los conceptos básicos para la planificación de redes de telecomunicaciones. Finalmente, el último capítulo trata de promover el empleo de las redes de acceso UMTS demostrando que son económicamente rentables bajo un escenario como el de Arequipa Metropolitano.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 Formulación del Problema

La ciudad de Arequipa presenta una creciente demanda aun no atendida de servicios de alta velocidades de acceso a Internet que garantice altas velocidades de transmisión de datos para diversos tipos de tráfico (streaming de audio, video de alta calidad y descarga de grandes archivos) que permita accesibilidad móvil.

1.2 Hipótesis

El diseño de una red UMTS-HSDPA y su futura implementación logrará brindar servicios de acceso a Internet móvil a altas velocidades, en un departamento donde escasean las infraestructuras de líneas fijas o alámbricas. El diseño involucra ofrecer productos de acceso a Internet de alta velocidad inalámbrico y móvil, para los sectores empresariales y residenciales (estratos socioeconómicos A, B y C).

1.3 Objetivos

Los objetivos de la tesis son los siguientes:

- Establecer criterios de diseño para una red UMTS – HSDPA en la ciudad de Arequipa.
- Ahorrar con el uso de una tecnología diseñada para paquetes, lo cual se puede traducir en tarifas más bajas para los usuarios finales.
- Utilizar la banda de 900 MHz para el servicio de conmutación para transmisión de datos asignada por el estado peruano, considerando la robustez de dicha banda de frecuencia en comparación con las que son utilizadas por las tecnologías actuales en la ciudad de Arequipa.
- Establecer los principales directrices para el dimensionamiento de las interfaces involucrados en los subsistemas de una red UMTS – HSDPA.
- Definir las características claves para dimensionar los diversos elementos de red involucrados en una red UMTS-HSDPA.

1.4 Alcances y Limitaciones

- Arequipa Metropolitana es el área elegida para la implementación de la red de tercera generación debido a que presenta interesantes características de desarrollo que

acrecientan el mercado potencial para servicios inalámbricos avanzados (videollamada, videoconferencia, TV móvil y acceso a Internet móvil de alta velocidad), todos ellos requiriendo tener una excelente cobertura y calidad de servicio (QoS).

- La banda de frecuencia de 900 Mhz otorgada por el estado peruano en resolución viceministerial N° 036-98-MTC-15.03, aprueba la siguiente canalización para el servicio de conmutación para transmisión de datos:
- Canales de ida: $f_n \text{ (MHz)} = 896.0000 + n \cdot 0.0125$; $1 < n < 200$
- Canales de retorno: $f_n \text{ (MHz)} = 935.0000 + n \cdot 0.0125$; $1 < n < 200$.
- Esta banda de frecuencia es más robusta en coberturas interiores (indoors) comparadas con las actuales frecuencias utilizadas en la ciudad de Arequipa, lo cual garantiza una mejor calidad en la transmisión de datos de alta velocidad.
- Actualmente la ciudad de Arequipa cuenta con productos de acceso a Internet de alta velocidad por medios alámbricos sin movilidad para el usuario final. El diseño y futura implementación de una red UMTS y principalmente HSDPA permitirá ofrecer productos de acceso a Internet de alta velocidad inalámbrico y móvil, para los sectores empresariales y residenciales (estratos socioeconómicos A, B y C).
- Durante el desarrollo de la tesis se observaron limitaciones en la recolección de la información para identificar la situación actual de los servicios de telecomunicaciones en la ciudad de Arequipa.

1.5 Metodología

La Metodología usada es la siguiente:

- Formular el problema.
- Proponer una explicación tentativa
- Elegir los instrumentos metodológicos.
- Someter a prueba dichos instrumentos.
- Seleccionar técnicas de recolección de datos
- Describir, analizar e interpretar los datos recopilados.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Panorama General de WCDMA

2.1.1 Desarrollo de las Comunicaciones Móviles

Hasta ahora las comunicaciones móviles han pasado por 2 generaciones consolidadas y se están orientando hacia la tercera generación. Muchos fabricantes ya han instalado redes en Europa y Asia y ahora en Latinoamérica.

La primera generación de comunicaciones móviles celular fue analógica, nace desde mediados de 1970 hasta 1980. El más importante avance en este periodo es el concepto de red celular, presentada por los laboratorios Bell en 1970, en comparación con los antiguos sistemas de comunicaciones móviles. El sistema de red celular se basa en células que reutilizan la frecuencia y por lo tanto mejoran la capacidad del sistema. El típico ejemplo del sistema de primera generación de comunicaciones móviles son los sistemas AMPS y TACS mejorado en USA, el NMT y NTT. AMPS (Advanced Mobile Phone System) utiliza la banda de 800 MHz de los sistemas de transmisión celular analógicos y este fue aplicado a América del Norte, América del Sur y algunas países del Pacífico. TACS (Total Access Communication System) utiliza la banda de 900 MHz e incluye dos versiones: ETACS (Enhanced TACS) en Europa y NTACS (Narrowband TACS) en Japón, este fue aplicado en Inglaterra, Japón y algunos países de Asia. La principal característica de los sistemas de comunicaciones de primera generación es que esta tecnología emplea la reutilización de frecuencia, adopta modulación analógica de señales de voz y ofrece un canal analógico para cada suscriptor con respecto al otro cada 30 Khz./ 25Khz. Sin embargo sus defectos son obvios:

- 1) Baja utilización del espectro de frecuencia.
- 2) Tipos de servicios limitados.
- 3) No hay servicios de altas velocidades de datos.
- 4) Poca confiabilidad y alta vulnerabilidad para interceptar.
- 5) Elevado costo de los equipos de gran volumen y pesados.

Para resolver estos defectos técnicos de los sistemas analógicos, emergen las tecnologías digitales de segunda generación representadas por GSM y IS-95, ejemplos

típicos de redes de segunda generación son DAMPS de USA, IS-95 y GSM.

GSM (Global System for Mobile Communications) nace en Europa, diseñado como un estándar TDMA para comunicaciones móviles celulares digitales, esta tecnología soporta velocidades de 64 Kbps y puede interconectarse con el ISDN, utiliza la banda de 900 MHz mientras que los sistemas DCS 1800 utilizan la banda de 1800 MHz, GSM utiliza los modos FDD y TDMA y cada portadora suporta 8 canales con un ancho de banda de 200 Khz. DAMPS (Digital Advanced Mobile Phone System) es también llamado IS-54 (North America Digital Cellular System), utiliza la banda de 800 MHz y utiliza el modo TDMA. IS-95 es otro estándar celular digital en América del Norte, utiliza la banda de frecuencia de 800 MHz o 1900 MHz, se especifica el uso del modo CDMA y ya es escogida como una de las primeras tecnologías PCS (Personal Communication System) en América del Norte. Desde que los sistemas de comunicaciones móviles 2G se concentran en transmisión de voz y servicios de bajas velocidades de datos, surgen los sistemas de comunicaciones 2.5G en 1996 para cubrir las necesidades de transmisiones de velocidades medias de datos, estos sistemas incluyen GPRS e IS-95B.

El sistema CDMA tiene una gran capacidad que es equivalente a diez o hasta veinte veces la capacidad de los sistemas análogos y también es altamente compatible con estos. A medida que la tecnología de banda angosta CDMA va madurando, sus aplicaciones están a la vanguardia comparada con la del GSM y en la actualidad solamente ha encontrado una gran escala de aplicaciones comerciales en América del Norte, Corea y China, los principales servicios de comunicaciones móviles son aun el servicio de voz y el servicio de bajas velocidades de datos. Con el desarrollo de las redes, los datos y comunicaciones multimedia también han presenciado un rápido desarrollo, por lo que el objetivo de las comunicaciones móviles de tercera generación 3G es la de implementar comunicaciones multimedia de altas velocidades.

Los sistemas de comunicaciones móviles de 3G son un tipo de sistema de comunicación que pueden proporcionar múltiples tipos de servicios multimedia de alta calidad a nivel mundial y poner en práctica sin problemas de cobertura el roaming internacional. Son compatibles con las redes fijas y pueden implementar cualquier tipo de comunicación en cualquier momento y en cualquier lugar con terminales portátiles. Presentada en 1985 por la UIT (Internacional Telecommunication Unión) 3G fue llamado FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunications System) y posteriormente fue rebautizada como IMT-2000 (International Mobile Communication-2000). Los principales sistemas incluyen WCDMA, CMDA 2000 y UWC-136. El 5 de noviembre de 1999, 18va conferencia de la UIT-R TG8/1 las especificaciones recomendadas de la interfaz de radio de IMT-2000 y la

tecnología TD-SCDMA presentada por China fueron incorporadas en el IMT-2000 CDMA TDD como parte de la especificación técnica.

2.1.2 Organismos de estandarización

La estandarización de los sistemas de comunicaciones móviles 3G son en realidad impulsados y ejecutados por dos organismos encargados de estandarización: 3GPP (3rd Generation Partner Project) y 3GPP2.

Establecidos en Diciembre del 1998, el 3GPP está conformado por la organización Europea ETSI, Japonesa ARIB, Coreana , y la Americana T1. Este sistema adopta la tecnología Europa y Japonesa WCDMA para construir una nueva red de acceso radio y evoluciona sin problemas desde las existentes centrales en GSM para proveer mayor diversidad de servicios. UTRA (Universal Terrestrial Radio Access) es utilizado como la interface estándar de radio.

En Enero del 1999, el 3GPP2 entra en funcionamiento formalmente, compuesta por la organización Americana TIA, Japonesa ARIB y Coreana TTA. Las tecnologías CDMA2000 y UWC-136 son aplicadas por accesos de radio, CDMA2000 particularmente adopta la patente de Qualcomm en gran medida. ANSI/IS-41 es utilizado para la red central. Un miembro formal de las dos organizaciones anteriores es China Wireless Telecommunications Standard Group (CWTS) y las dos compañías chinas (Huawei y Datang), son los dos miembros independientes del 3GPP.

2.1.3 Tipos y diferencias de Sistemas 3G

El trabajo de investigación de 3G del UIT es realizado principalmente por el 3GPP y 3GPP2. El objetivo del UIT para 3G es establecer la familia de conceptos ITM-2000 e implementar el roaming global entre los distintos sistemas 3G.

La familia de conceptos IMT-2000 es:

- a) Parte de Red: En una reunión intermedia de la UIT-T SG11 en marzo de 1997, se aprobó el concepto de familia presentada por ITM-2000, este concepto se basa en redes existentes e involucra al menos dos de los principales estándares: GSM MAP e IS-41.
- b) Parte de Interface Radio: En la reunión del UIT-R TG8/1 en septiembre del 1997, empezó la discusión sobre los conceptos de familia de las interfaces de radio. En una reunión especial TG8/1, el concepto suite fue presentado y el concepto de familia queda fuera de uso. Esto significa que puede haber más de un estándar de interfaz de radio, pero el concepto de más de una norma aun no se ha aceptado.

La correspondencia entre las redes centrales y las interfaces de radio se muestra en la Figura 2.1.

Los tres principales sistemas en 3G son WCDMA, CDMA y TD-SCDMA. WCDMA, formulado por el organismo de estandarización Europeo 3GPP, WCDMA es ampliamente

soportado por los organismos de estandarización mundial, fabricantes de equipos, proveedores de componentes y operadores. La red central evoluciona sobre las bases de GSM y puede ser compatible con las redes existentes GSM/GPRS. Este puede basarse en las tecnologías TDM, ATM, IP para evolucionar a la arquitectura de red IP.

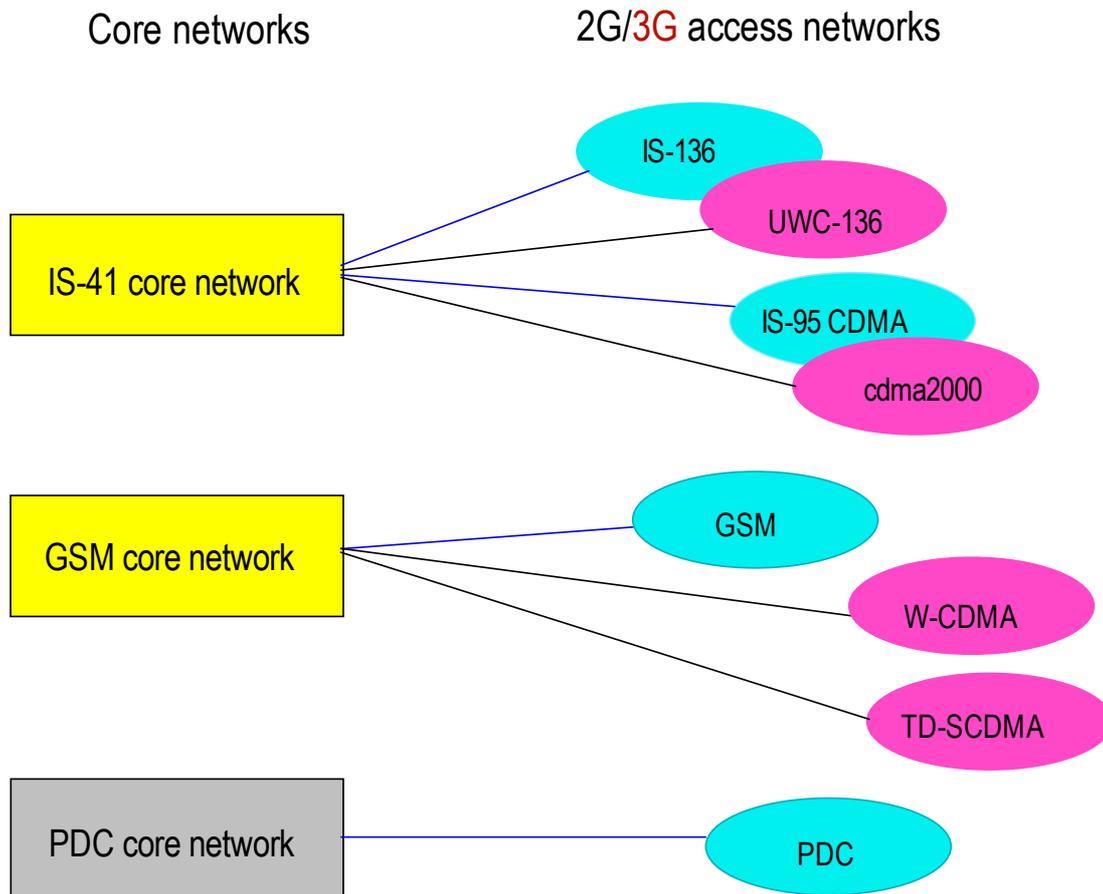


Figura 2.1 Correspondencia entre la red central y la interface de red acceso radio

Fuente: Tektronix – UMTS Tutorial

Lógicamente la red central o core network se compone de dos partes: el dominio de circuitos y el dominio de paquetes para completar los servicios por conmutación de circuitos y conmutación de paquetes, respectivamente. El sistema WCDMA está basado en la tecnología ATM, pero los procesos de voz y servicios de paquetes evolucionan a IP. El Tunneling en MAP y GPRS son esenciales en los mecanismos de administración de la movilidad en los sistemas WCDMA. La interface Aire adopta la tecnología WCDMA con un ancho de banda de señal de 5 MHz y la tasa de chip x sec es 3.84 Mcps. Este sistema utiliza el esquema de codificación de voz AMR y soporta el modo de operación síncrono o

asíncrono de los nodos B. Además, los siguientes modos son aplicados en los sistemas WCDMA: Control de potencia de lazo cerrado en enlace descendente y ascendente; diversidad en transmisión de lazo abierto (STTD & TSTD) y abierto (FBTD); codificación convolucional y turbo codificación; QPSK en el enlace ascendente y descendente.

CDMA 2000 es un estándar 3G presentado sobre las bases del estándar IS-95, sus trabajos de estandarización son actualmente realizados por el 3GPP2. El dominio de conmutación de circuitos o circuit switched (CS) es adaptado de las redes CDMA 2G IS-95, el dominio de circuitos ha introducido una plataforma de servicios basada en la infraestructura WIN. El dominio de conmutación de paquetes o packet switched (PS) está basada en la tecnología IP para móviles.

La Red de Acceso Radio o Radio Access Network (RAN), está basada en ATM y provee abundantes interfaces en la capa de adaptación. La interface aire adopta la tecnología CDMA 2000 y es compatible con el IS95. El Ancho de banda de la señal es $N \times 1.25$ MHz ($N = 1, 3, 6, 9, 12$) y la tasa de chip es $N \times 1.2288$ Mcps. Utiliza los modos 8K/13K QCELP o 8K EVRC para codificación de voz, sus BTS requieren sincronizarse utilizando los modos GPS/GLONASS. Los siguientes modos son aplicados en los sistemas CDMA 2000: Control de potencia de lazo cerrado en enlace descendente/ascendente; diversidad de transmisión OTD y STS hacia delante para mejorar en anti-desvanecimiento de la capacidad de los canales y la capacidad de los canales; codificación convolucional y turbo codificación; BPSK en el enlace ascendente y QPSK en el enlace descendente.

El estándar TD-SCDMA es presentado por el grupo Chinese Wireless Telecommunication Standard (CWTS) y ahora se ha unido con las especificaciones relacionadas al WCDMA – TDD del 3GPP. El core network evoluciona de las bases de 2G y puede ser compatible con redes GSM/GPRS. Este puede ser basado en tecnologías TDM, ATM e IP para luego evolucionar a las arquitecturas de red todo en IP. El core network está compuesta de dos partes: el dominio de circuitos y el dominio de paquetes para completar los servicios de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes respectivamente. Basado en la tecnología ATM, pero los procesos de voz y servicios de paquetes evolucionan a IP. La tecnología Tunneling en MAP y GPRS es esencial en los mecanismos de administración de la movilidad. La interface aire adopta el modo TD-SCDMA.

Las características del TD-SCDMA 3S son: Antenas inteligentes (Smart), CDMA síncrono (Synchronous) y software de radio (Software).

La clave tecnología utilizada en TD-SCDMA incluye antenas inteligentes + conjunto de detección, Multi slot CDMA + DS-SS, CDMA síncrono, codificación de canal y entremezclado (interleaving) (los mismo del 3GPP). La Tabla N° 2.1 muestra una breve comparación de los tres sistemas descritos anteriormente:

Tabla N° 2.1 Comparación entre los tres principales sistemas técnicos

Fuente: Tektronix – UMTS Tutorial

Sistema	WCDMA	CDMA 2000	TD-SCDMA
Países	Europa y Japón	USA y Corea	China
Basado en	GSM	Narrowband CDMA	GSM
Modo de sincronización	Síncrono / asíncrono	Síncrona	Síncrona
Tasa Chip	3.84Mcps	Nx1.2288Mcps	1.28Mcps
BW	5MHz	Nx1.25MHz	1.6MHz
Interface Aire	WCDMA	cdma2000 compatible IS-95	TD-SCDMA
Core network	GSM MAP	ANSI-41	GSM MAP

2.1.4 Espectro de frecuencia en 3G

Los rangos de frecuencia asignados para sistemas de comunicaciones 3G IMT-2000 son: 1885 MHz ~ 2025 MHz en enlace de subida y el rango 2110 ~ 2200 MHz en el enlace descendente, de estos el rango de frecuencia entre 1980 MHz ~ 2010 MHz (enlace ascendente) y el rango de 2170 MHz ~ 2200 MHz (enlace descendente) son usados por servicios satelitales móviles. Como el enlace ascendente y descendente son asimétricas, el uso de frecuencia dual FDD o modo de frecuencia simple TDD pueden ser considerados, nuevas bandas adicionales fueron aprobados sobre las bases del WRC-92 en el WRC2000 para las bandas 806 MHz ~ 960 MHz, 1710 MHz ~ 1885 MHz y 2500 MHz ~ 2690 MHz, como se muestra en la figura 2.2.

En Europa, la asignación del espectro de frecuencia es la siguiente: 1900 MHz ~ 1980 MHz, 2010 MHz ~ 2025 MHz y 2110 MHz ~ 2170 MHz, un total 155 MHz

En América del Norte la situación es bastante compleja, tal y como se muestra en la figura 2.2. La banda de 1850 MHz ~ 1990 MHz ya han sido asignadas para el uso de PCS y esto ha sido dividido en dos de bandas de 15 MHz y otras dos de 5MHz. Como el servicio PCS ya ha ocupado el espectro de frecuencia del IMT-2000, el enlace de subida de la banda ajustada del IMT-2000 tiene que ser compartida con la banda del enlace descendente de PCS, este tipo de arreglo no es recomendable para transmitir altas velocidades de datos.

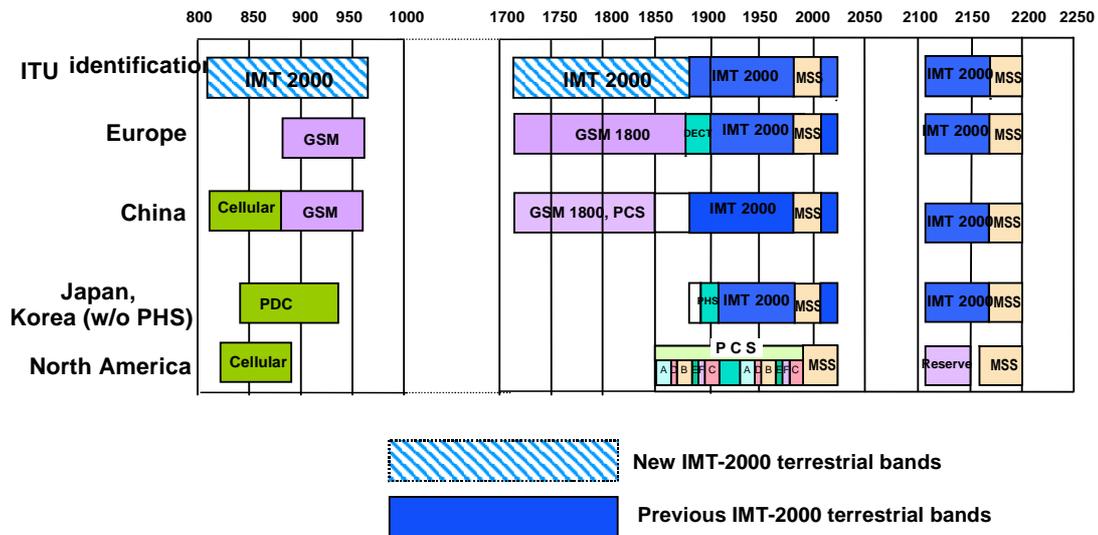


Figura 2.2 Asignación del espectro de frecuencia WRC-2000

Fuente: Tektronix – UMTS Tutorial

En Japón, la banda de frecuencia entre 1893.5 MHz ~ 1919.6 MHz ha sido asignada al uso de PHS, quedando un total 135 MHz (2 x 60 MHz + 15 MHz) para comunicaciones móviles en 3G de la siguiente forma: 1920 MHz ~ 1980 MHz, 2110 MHz ~ 2170 MHz, 2010 MHz ~ 2025 MHz. En la actualidad Japón se esfuerza por despejar el conflicto con las frecuencias de 3G. Corea tiene la misma asignación de frecuencia como la recomendación de la UIT.

WCDMA FDD utiliza el siguiente espectro de frecuencia: 1920 MHz ~ 1980 MHz en el enlace ascendente y 2110 MHz ~ 2170 MHz en el enlace descendente. Cada portador de frecuencia tiene una banda de 5M y el espacio dúplex es 190 MHz. En América, se utiliza el espectro de frecuencia entre 1850 MHz ~ 1910 MHz en el enlace ascendente y 1930 MHz ~ 1990 MHz en enlace descendente y el espacio dúplex es 80 MHz. El espectro de frecuencia utilizado por el modo WCDMA TDD es la siguiente:

- 1) Enlace ascendente 1900 ~ 1920 MHz y 2010 ~ 2025 MHz
- 2) América: Enlace ascendente 1850 MHz ~ 1910 MHz y enlace descendente 1930 MHz ~ 1990 MHz
- 3) América: 1910 MHz ~ 1930 MHz tanto en enlace ascendente como descendente.

En casos especiales (fronteras entre dos países), el modo TDD y FDD pueden coexistir en la misma banda de frecuencia.

En CDMA 2000 solamente existe el modo FDD y actualmente existe un total de 7 clases de banda, de las cuales la banda clase 6 es 1920 MHz ~ 1980 MHz / 2110 MHz ~ 2180 MHz estipulada en IMT-2000.

2.2 Servicios en WCDMA

Los servicios en WCDMA son compatibles con muchos servicios y aplicaciones de GSM y GPRS, debido a que posee una plataforma de servicios integrados para ofrecer una amplia perspectiva de servicios 3G.

2.2.1 Categorías y Características de los servicios 3G

Los servicios de 3G pueden ser categorizados de la siguiente forma:

- Servicios de telecomunicaciones básicos, incluye llamadas de voz, llamadas de emergencia y SMS.
- Servicios suplementarios, los mismos definidos en GSM.
- Servicios de datos, incluye servicios de datos sobre circuitos y sobre paquetes.
- Servicios inteligentes, basados en mecanismos CAMEL.
- Servicios de localización, relacionados a información de localización, tales como cobro por zona.
- Servicios multimedia, incluye servicios multimedia en tiempo real sobre circuitos y paquetes, así como servicios en tiempo no real.

Los servicios mencionados anteriormente pueden solaparse, por ejemplo el servicio de cobro por zona no es solamente un servicio de localización sino también un servicio inteligente. Los servicios WCDMA 3G son inherentes desde los servicios 2G. En una nueva arquitectura hay capacidad para generar nuevos servicios y más tipos de servicios están disponibles, las características de los servicios varían grandemente de esta forma existen grandes diferencias entre ellos. Generalmente estas son las características:

- Servicios en tiempo real tales como voz, generalmente tienen requerimientos de QoS.
- Compatible con los anteriores servicios provistos por la red GSM.
- El concepto de servicios multimedia es introducido.

2.2.2 Servicios Inteligentes - CAMEL fase 3

CAMEL Fase 2 es implementado en GSM, principalmente para soportar el servicio prepago. CAMEL Fase 3 es necesario para ser implementado en UMTS. La fase 2 soporta servicios tales como conmutación de circuitos CS, USSD (Unstructured Supplementary Service Data), SS (Supplementary Service) y CF (Call Forwarding). Sobre esta base, CAMEL Fase 3 ha incorporado soporte para GPRS, SMS, MM y LCS (opcional).

Categoría de servicios:

- Servicio CAMEL de control de llamadas por conmutación de circuitos.
- Servicio CAMEL de control de GPRS.
- Servicio CAMEL de control de SMS.
- Servicio CAMEL de control de USSD.
- Servicio CAMEL de control de la administración de la movilidad.
- Servicio CAMEL de control de información de localización.

2.2.3 Servicios de Localización

Es ampliamente aceptado en la industria que el servicio de localización (LCS) tiene un mercado muy prometedor y perspectivas comerciales. LCS ha sido comercializado en redes GSM y GPRS en China y otros países. En el campo de 3G, debido a la mejora de ubicación de precisión y aplicación de sistemas de estructura abierta, LCS es muy atractivo, este puede llegar a ser uno de los principales servicios en 3G, existen los siguientes tipos de servicios LCS:

- Servicio de seguridad pública

En octubre del 2001, en los Estados Unidos comenzó la provisión de los Servicios de Emergencia Mejorados. La FCC (Federal Communications Commission) estipula que los operadores inalámbricos deberán proveer un servicio para conocer la ubicación del móvil, la precisión deberá ser menor a los 125 metros, este tipo de servicio está provisto por los operadores para el interés público y debe ser disponible sin ninguna aplicación en el lado del usuario. Para los operadores, este servicio será libre de ganancias.

- Cobro basado en localización

Cobro específico para usuarios: Algunas áreas de localización (LA) pueden ser áreas de menor costo, en estas áreas de localización, ambos sentidos de las llamadas serán de cobro reducido.

Cobro basado en localización cercana: Si el número A (usuario que llama) y el número B (usuario que recibe la llamada) se encuentra en la misma área de localización o cerca, ellos también pueden obtener un cobro reducido.

Cobro basado en área específica: Si uno o ambos de los usuarios están en un área específica, como una tienda de ropa, ellos también pueden obtener un cobro reducido de su llamada, esto puede incentivar al usuario a entrar en esta área.

- Enrutamiento de llamada mejorado (ECR – Enhanced Call Routing)

ECR permite a las llamadas de los usuarios a ser enviadas al punto de servicio más cercano de acuerdo a su localización. El usuario puede realizar diversas tareas con números de acceso específicos. Por ejemplo, el usuario puede marcar 427 para tener acceso a la estación de gas más cercana, este servicio puede estar disponible para

cadena de empresas, ejemplo: las de comida rápida, o gasolineras, acceso a información bancaria o cajero automático.

- Servicios de información basado en localización

La figura 2.3 describe el servicio de información basado en la localización que permite al usuario obtener información específica basada en su localización, algunos ejemplos de la aplicación del servicio:

Vista de la ciudad (City sightseeing): Dirige la visita hacia los sitios turísticos o indica uno cercano, también provee información del hotel, banco, aeropuerto, estación de bus o lugar de distracción más cercano.

Emisión de contenido masivo basado en localización: Se puede enviar mensaje a usuarios en un área específica. Se utiliza principalmente en los servicios de publicidad, por ejemplo, entregar anuncios a los usuarios cerca de un centro comercial con el fin de atraer clientes, también puede filtrar los usuarios, por ejemplo, la administración de un puerto puede ofrecer envío de mensajes al personal dentro de la zona portuaria. Adicionalmente se pueden enviar cronograma de actividades a los turistas en las áreas de turismo.

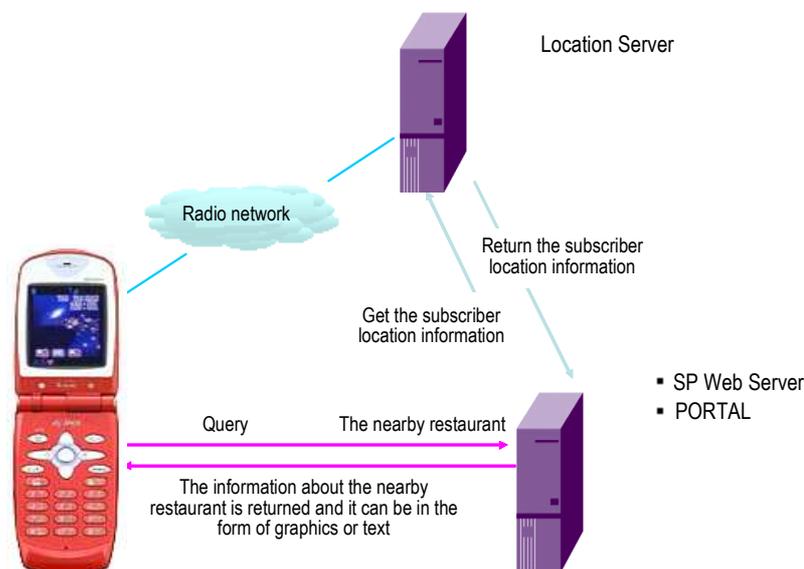


Figura 2.3 Servicio de información basado en localización

Fuente: Tutorial Huawei

- Páginas Amarillas para móviles

El servicio de páginas amarillas es similar al servicio ECR, este provee información del

punto de servicio de acuerdo a las necesidades de los usuarios. Por ejemplo el cliente puede enviar “restaurante” o mas condiciones como “Comida China” y “dentro de 3Km” como búsqueda, los resultados pueden ser los números de teléfono o direcciones.

2.2.4 Servicios Multimedia

En 3G, los servicios multimedia distribuidos son los primeros en ser desarrollados. Con un ancho de banda pequeño el servicio de voz es el primero en ser desarrollado, especialmente con el amplio uso de MP3. La primera aplicación del servicio de video es unidireccional basada en bajas velocidades de transmisión y pequeñas imágenes MPEG4, tales como servicios de publicidad en tiempo real o video clips.

Detalle de Tipos de servicios multimedia, ilustrados en la figura 2.4:

- Servicios multimedia por conmutación de circuitos en tiempo real:
- Servicios multimedia por conmutación de paquetes en tiempo real.
- Servicios de mensaje multimedia en tiempo no real.

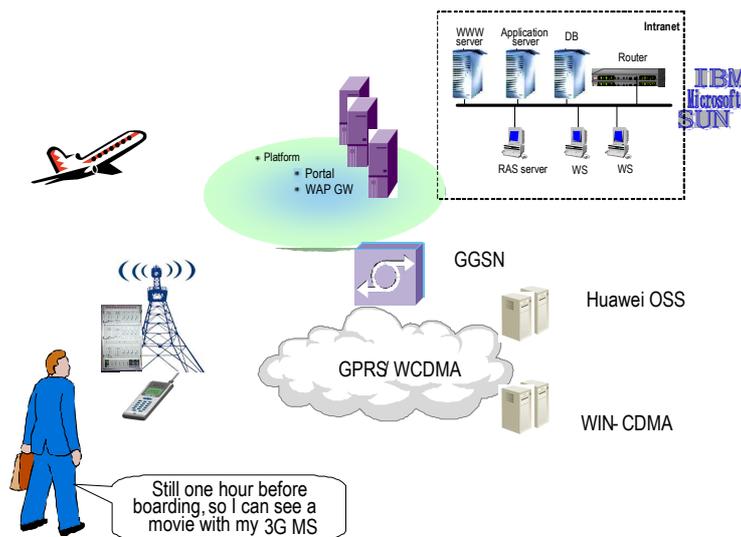


Figura 2.4 Ejemplo del servicio Video sobre demanda.

Fuente: Tutorial Huawei

2.2.5 Otros Servicios Típicos

- Servicio PUSH

Es un tipo de tecnología de PUSH (presionar un botón), esto se inicio con mensajes PUSH para usuarios, tales como información del tiempo, información sobre acciones, noticias, servicios de publicidad, información de tráfico y otros tipos de mensajes personalizados. Para la investigación y discusión del servicio PUSH, 3GPP propone una

serie de esquemas de implementación. Estos esquemas incluyen: Implementación del servicio PUSH a través del uso del proceso de activación del contexto PDP por la red; implementación de servicio PUSH a través del uso del proceso de activación del contexto PDP por la red e iniciado por una consulta DNS; implementación del servicio PUSH usando SMS; implementación del servicio PUSH usando un PDP on-line siempre; implementación de servicios PUSH basados en protocolo SIP, y servicios PUSH utilizando el protocolo HTTP.

- Portales

Servicios en Portales son un tipo de servicio basado en PUSH. Cuando el usuario accede a Internet, la red lanzara páginas del portal. Para los operadores, pueden obtener precios de publicidad desde las páginas. Para los usuarios, pueden obtener un acceso a Internet infalible, y obtener información pública como el clima, el tráfico. Para mejorar el servicio, el usuario móvil puede dar clic a la página para seleccionar cada ISP, o acceder a una red empresarial sin información inútil.

2.3 Estructura del sistema WCDMA

2.3.1 Introducción

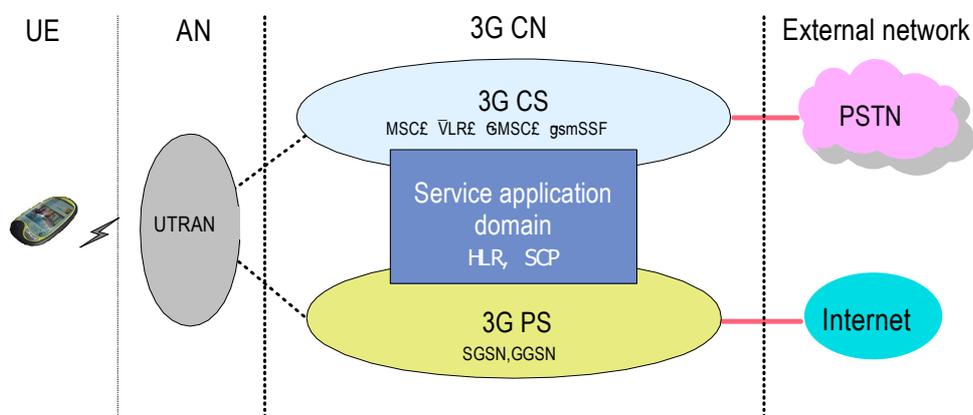


Figura 2.5 Estructura del sistema UMTS

Fuente: Tutorial Huawei

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) es la tercera generación de los sistemas de comunicaciones móviles que utiliza en la interface de radio la tecnología WCDMA, usualmente es llamado sistema de telecomunicaciones WCDMA, este adopta una estructura similar a la de los sistemas de segunda generación, consta de redes definidas RAN (Radio Access Network) y el CN (Core Network). RAN es utilizado para todos los procesos relacionados a las funciones de radio, mientras que el CN es utilizado para todos los procesos de conexiones de llamadas de voz y datos dentro del sistema

UMTS, e implementa la función de una red externa de conmutación y enrutamiento. Lógicamente el CN es dividido en dominio CS (Circuit Switched) y dominio PS (Packet Switched). UTRAN, CN y UE (user equipment) junto constituyen el sistema UMTS, la estructura se muestra en la Figura 2.5.

Desde el punto de vista del 3GPP R99, el UE y el UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) se componen de nuevos protocolos, y el diseño está basado en tecnologías de radio WCDMA. Sin embargo el CN adopta la definición de GSM/GPRS.

2.3.2 Elementos de una red UMTS

La composición de una red UMTS es descrita en la Figura 2.6, como se observa una red UMTS está constituida de las siguientes partes.

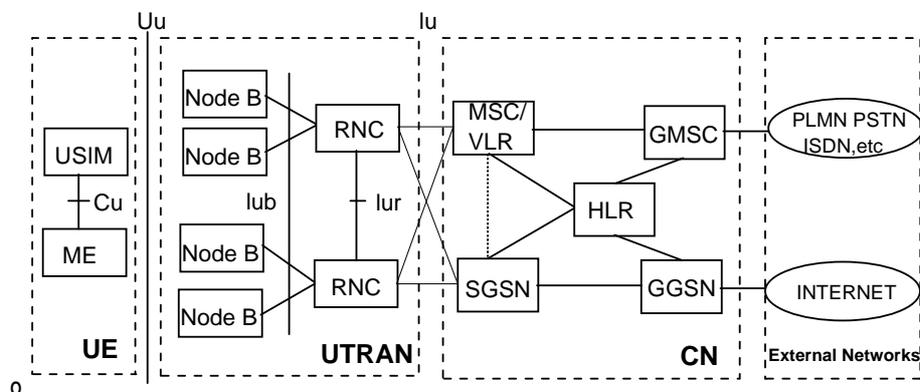


Figura 2.6 Composición de una red UMTS

Fuente: Introduction to 3G Mobile Communications

a) UE (User Equipment)

El UE intercambia información con la red a través de la interface Uu, y provee los tipos de servicios permitidos por el dominio CS y PS como voz, comunicación de datos, servicios multimedia y aplicación de Internet (E-mail, navegación WWW y FTP).

El UE está compuesto de las siguientes partes:

- ME (Mobile Equipment): Prestación de aplicación y servicios.
- USIM (UMTS Subscriber Module): Prestación de la identificación de abonados.

b) UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)

UTRAN es dividido en Nodo B y RNC (Radio Network Controller)

- Nodo B

El Nodo B es la estación base del sistema WCDMA (transmisores de radio), este se interconecta con el RNC vía la interface estándar lub, el Nodo B procesa los protocolos de la capa física de la interface Uu, su principal función es realizar el spreading /de-spreading, modulación/demodulación, codificación de canal/decodificación y conversión

entre la señal de banda base y la señal RF.

- **RNC (Radio Network Controller)**

El RNC lleva a cabo funciones tales como el establecimiento y liberación de los recursos de radio, handover y gestión del control de los recursos de radio. Las funciones detalladas son las siguientes:

- 1) Proporciona información del sistema de difusión (broadcast) y funciones de control de acceso.
- 2) Proporciona gestión de la movilidad tales como Handover y transición de RNC.
- 3) Proporciona gestión de recursos de radio y funciones de control tales como diversidad, control de potencia y asignación de portador de radio.

c) CN (Core Network)

El CN se encarga de la conexión con otras redes, así como la de la comunicación y gestión de los UE's. El equipamiento del core network depende de la versión del protocolo. Generalmente, un CN R99 es dividido en dominio CS y PS. El CN R4 es similar la R99, pero la función del MSC R99 es implementado en dos entidades separadas: MSC Server y MGW. El CN R5 es similar al R4 salvo que en el CN R5 se ha agregado un dominio IP Multimedia.

El Core Network R99 tiene las siguientes funciones:

- 1) **MSC/VLR**

Es un nodo funcional del dominio CS en una red WCDMA, este se conecta con el UTRAN a través de la interface Iu-CS, y con las redes externas (PSTN y ISDN) vía la interface PSTN/ISDN, con el HLR/AUC vía las interfaces C/D, con el MSC/VLR, GMSC o SMC vía la interface E, con el SCP vía la interface CAP, y con el SGSN a través de la interface Gs. Sus principales funciones son las de control de llamada, gestión de movilidad, autenticación y encriptación del dominio CS.

- 2) **GMSC**

GMSC es la puerta de enlace entre el dominio CS de una red WCDMA y una red externa, este es un nodo de funcionalidad opcional. El GMSC se conecta con redes externas (PSTN, ISDN y otras PLMN) por medio de la interface PSTN/ISDN, se conecta con el HLR a través de la interface C y con un SCP vía la interface CAP. Este elemento de red implementa funciones de enrutamiento de llamadas entrantes utilizando la función de VMSC.

- 3) **SGSN**

El SGSN (Serving GPRS Support Node) es un nodo funcional del dominio PS en una red WCDMA. Este se conecta con el UTRAN a través de la interface Iu-PS, con el GGSN a través de la interface Gn/Gp, y con el HLR/AUC a través de la interface Gr, con el

MSC/VLR a través de la interface Gs, con un SCP a través de la interface CAP, con el SMC vía la interface Gd, con el CG por medio de la interface Ga. Sus principales funciones son las de enrutamiento, gestión de la movilidad, autenticación y cifrado del dominio PS.

4) GGSN

El GGSN (Gateway GPRS Supporting Node) es un nodo funcional del dominio PS en una red WCDMA, este se conecta con el SGSN a través de la interface Gn/Gp y con redes de datos externos (Internet/Intranet) a través de la interface Gi. Este provee el enrutamiento y encapsulamiento de los paquetes de datos entre la red WCDMA y una red de datos externa. Desde el punto de vista de una red externa, el GGSN parece como si fuese un ruteador de todos los usuarios IP de la red WCDMA, y es necesario para intercambiar información con las redes externas.

5) HLR

El HLR (Home Location Register) es un nodo funcional compartida para los dominios CS y PS en una red WCDMA, se conecta con el MSC/VLR o GMSC a través de la interface C y con el SGSN a través de la interface Gr y con el GGSN a través de la interface Gc. Sus principales funciones son la de almacenar la información de los suscriptores, soportar nuevos servicios y proveer una función mejorada de autenticación.

2.3.3 Estructura Básica de UTRAN

La estructura de UTRAN se observa en la Figura 2.7

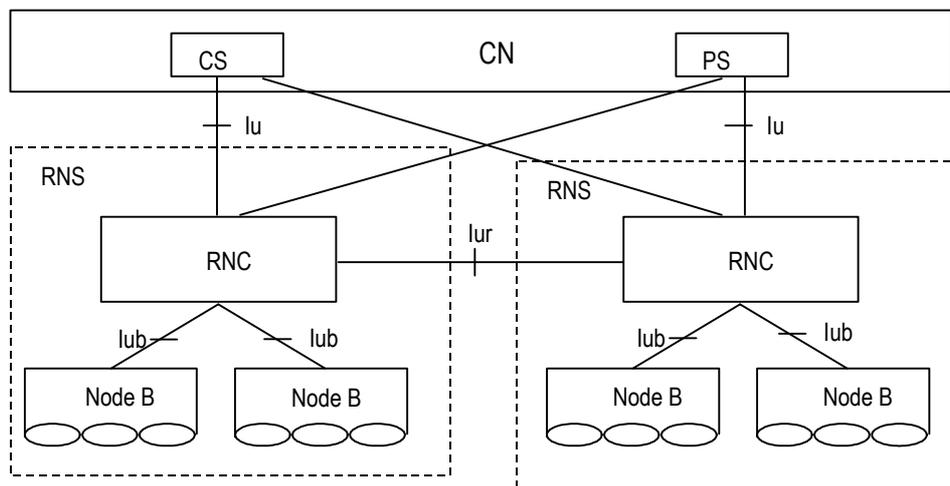


Figura 2.7 Estructura del UTRAN

Fuente: Tutorial Huawei

UTRAN incluye uno o varios subsistemas de radio, Radio Network Subsystems (RNSs). Un RNS está compuesto de un RNC y uno o varios Nodos B. La interface lu es utilizada entre RNC y CN, mientras que la Interface lub es adoptada entre el RNC y el Nodo B. En

UTRAN los RNC's pueden conectarse unos con otros a través de la interface Iur. La interface Iur puede conectar vía una conexión física directa entre ellos o conectados a través de una red de transporte. El RNC se utiliza para asignar y controlar los recursos de radio de los Nodos B conectados, sin embargo los Nodos B además de convertir los flujos de datos de las interfaces Iub y Uu, este también en parte participa en la gestión de los recursos de radio.

a) Interfaces del Sistema UTRAN

UTRAN tiene las siguientes interfaces:

- Interface CU, es la interface eléctrica entre la tarjeta USIM y el ME (Mobile equipment), esta es una interface estándar.
- Interface Uu, es la interface de radio de WCDMA. UE accede a la red fija del sistema UMTS a través de la interface Uu, por lo que podemos decir que la interface Uu es la más importante interface abierta en los sistemas UMTS.
- Interface Iur, es la interface que conecta a los RNC's. Esta interface es exclusiva del sistema UMTS para la gestión de movilidad de los usuarios en la RAN. Por ejemplo, cuando diferentes RNC's realizan soft handover, toda la información de la UE es transferida del RNC origen al destino a través de esta interface.
- Interface Iub, es la interface entre el Nodo B y el RNC, esto permite al RNC conectarse a Nodos B de otros fabricantes.
- Interface Iu, es la interface entre UTRAN y el CN, se comporta de forma similar a la Interface A y Gb en los sistemas GSM, la Iu también es una interface abierta, esto permite a diferentes fabricantes de UTRAN y CN conectarse juntos, esta interface se divide en interface IuCS e interface IuPS.

b) Estructura de protocolos de las interfaces del Sistema UTRAN

La estructura de protocolos de las interfaces en UTRAN están diseñadas de acuerdo al modelo universal de protocolos, este principio es tal que lógicamente la capa y el plano deben ser independientes. Si es necesario, se puede modificar una parte de la estructura del protocolo sin modificar otras partes, como se muestra en la figura 2.8

Horizontalmente, la estructura de protocolos contiene las capas de red de radio y transporte de red. Todos los protocolos relacionados a UTRAN están contenidos en la capa de red de radio. La capa de transporte de red es la técnica de transmisión estándar adoptada por UTRAN, esto no tiene nada que ver con las funciones específicas de UTRAN. Verticalmente, este contiene el plano de control y el plano de usuario. El Plano de control contiene los protocolos de aplicación (RANAP en la interface Iu, RNSAP en la interface Iur y NBAP en la interface Iub) y soportes de señalización responsables de transmitir estos protocolos de aplicación. Los protocolos de aplicación son utilizados para

construir las portadoras (bearers) hacia el equipo terminal de usuario o UE (Ejemplo: portadoras de acceso radio en la interface lu, enlaces de radio en la interface lur e lub), estas portadoras de señalización de los protocolos de aplicación puede ser igual o puede diferir de los protocolos de aplicación del enlace de acceso (ALCAP – Access Link Control Application Protocol), y ellos son establecidos a través de O&M.

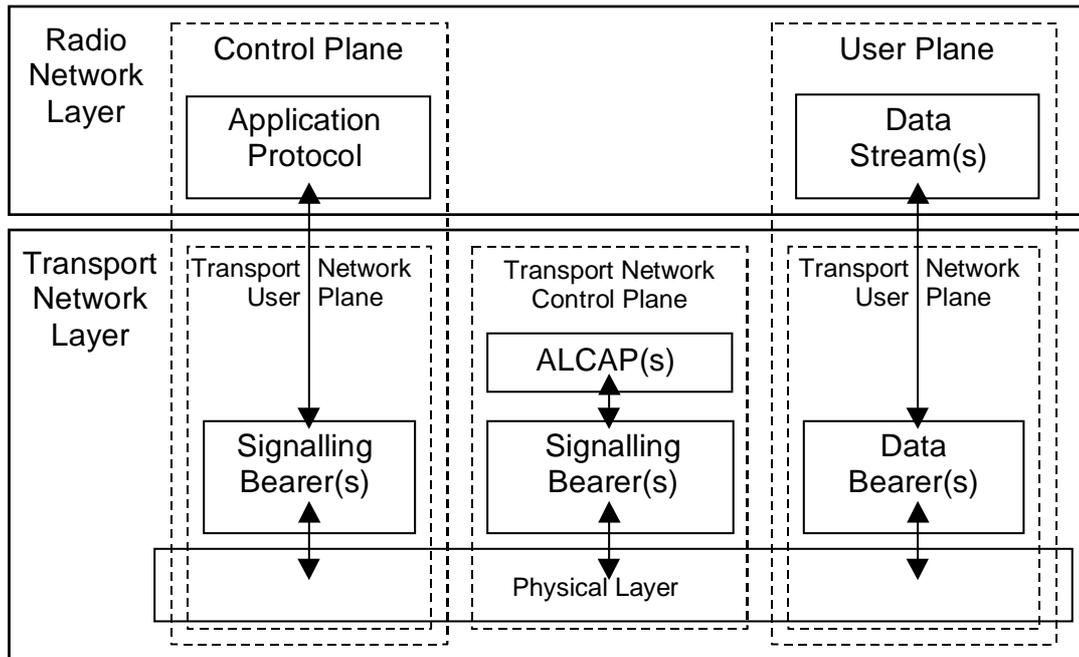


Figura 2.8 Modelo Universal de protocolos de las Interfaces UTRAN

Fuente: Tutorial Huawei

El Plano de usuario contiene flujo de datos y portadoras de datos para transportar este flujo de datos. Toda la información (voz y datos) recibida o enviada por los UE's es transmitida a través del plano de usuario. El plano de control de la red de transporte está ubicado entre el plano de control y el plano de usuario, solo existe en la capa de transporte, entonces este no contiene ninguna información acerca del plano de control de la red de radio. Este contiene ALCAP y la portadora de señalización requerido para ALCAP, este protocolo establece el soporte de transporte para el plano de usuario. Con la adopción del plano de control de la red de transporte los protocolos de aplicación de la red de radio pueden ser independientes de la técnica seleccionada para las portadoras de datos en el plano de usuario.

En la red de transporte, la portadora de transporte del plano de datos en el plano de usuario es construido de la siguiente manera: Protocolos de aplicación en el plano de

control inician el procesamiento de señalización, lo que conlleva a la creación de portador de datos en el plano de datos a través de ALCAP. Sin embargo, no todos los tipos de portadoras de datos deben ser establecidos a través de ALCAP. Sin el procesamiento de señalización de ALCAP, el plano de control de la red de transporte no sería necesario, por lo que la portadora de datos pre configurado se debe utilizar en su lugar. La portadora o bearer de señalización de ALCAP puede ser el mismo o pueden ser diferentes de los protocolos de aplicación. Por lo general, el bearer de señalización de ALCAP es establecido a través de operaciones de O&M.

La portadora de datos del plano de usuario y la portadora de señalización de los protocolos de aplicación, ambos pertenecen al plano de usuario de la red de transporte. En operaciones en tiempo real, las portadoras de datos de la red de transporte del plano de usuario son controlados directamente por la red de transporte del plano de control. Sin embargo, la operación de control requerida para el establecimiento de las portadoras de señalización del protocolo de aplicación pertenece a operaciones de O&M. En conclusión, UTRAN sigue los siguientes principios:

- 1) El plano de señalización está separado del plano de datos.
- 2) Las funciones del UTRAN/CN están separadas por la capa de transporte, es decir, la capa de red de red de radio no depende de la técnica de transmisión específica.
- 3) Macro diversidad (FDD) es procesada totalmente por UTRAN.
- 4) La gestión de la movilidad de la conexión RRC es procesada totalmente por UTRAN.

c) Funciones implementadas por UTRAN

- 1) Funciones relacionadas al sistema general de control de acceso
 - Control de admisión.
 - Control de congestión.
 - Sistema de información broadcast.
- 2) Funciones relacionadas a la seguridad y confidencialidad.
 - Encriptación y des encriptación de los canales de radio.
 - Protección de la integridad del mensaje.
- 3) Funciones relacionadas a la movilidad.
 - Handover
 - SRNS relocation
- 4) Funciones relacionadas al control y gestión de la movilidad
 - Operación y configuración de los recursos de radio.
 - Estadísticas del ambiente de radio.
 - Control de la macro diversidad (FDD)
 - Conexión y liberación de las portadoras o bearers de radio (control de RB)

- Asignación y cancelación de las portadoras de radio
 - Asignación dinámica de canales (TDD)
 - Función de protocolo de radio.
 - Control de la potencia de RF.
 - Ajuste de la potencia de RF
- 5) Ajuste del timing advanced (TDD)
 - 6) Codificación de los canales de radio.
 - 7) Decodificación de los canales de radio
 - 8) Control de la codificación de canal
 - 9) Procesamiento y detección del acceso inicial (canal random)
 - 10) Distribución en el CN de los mensajes NAS.

d) RNC (Radio Network Controller)

El RNC es utilizado para controlar los recursos de radio de UTRAN. Por lo general está conectado con los dominios CS (MSC), PS (SGSN) y el dominio broadcast, a través de la interface Iu. El protocolo RRC utilizado entre el UE y UTRAN termina aquí. Lógicamente, el RNC es análogo al Controlador de estaciones base (BSC) en una red GSM.

El RNC utiliza el control del RNC (CRNC) del Nodo B para controlar a estos, el CRNC es responsable de gestionar los recursos de radio de la celda bajo su control.

Si más de un RNS se utiliza para conectar una UE con UTRAN, estos RNC pueden ser divididos en los siguientes tipos:

- RNC Servidor (SRNS – Serving RNS): Gestiona las conexiones de radio entre el UE y el UTRAN, que corresponde al punto de terminación de la interface Iu del UE (Interface Uu). Toda la gestión básica de los recursos de radio es implementada por el SRNC en SRNS, por ejemplo, mapeando los parámetros de la portadora de acceso radio hacia los parámetros de los canales de transporte, handover de celda y control de potencia de circuito cerrado. Una UE relacionada con UTRAN debe tener solo una SRNC.
- RNC Derivado (DRNS – Drift RNS): Cualquier RNS excepto el SRNS utilizado por el UE es llamado DRNS. Este RNC es DRNC. UN usuario puede tener ninguno, uno o varios DRNS.

Usualmente, el actual RNC contiene todas las funciones de CRNC, SRNC y DRNC.

f) Nodo B

El Nodo B es la estación base (ejemplo: transceptor de radio) del sistema WCDMA, y es interconectado con el RNC a través de la Interface estándar Iub para procesar los protocolos de capa física de la Interface Uu. Sus principales funciones son: Combinación de esparcimiento para la Macro diversidad (Spreading) y el proceso inverso (De-

spreading), modulación y demodulación, codificación de canal y decodificación, y conversión de la señal de banda base a RF. Mientras tanto, este implementa funciones de gestión de recursos de radio como control de potencia de lazo. Realizando una analogía, este corresponde a la Estación Base (BTS) de una red GSM.

2.3.4 Estructura Básica de la Red Central (CN – Core Network)

Lógicamente, el CN es dividido en los dominios de conmutación de circuitos (dominio CS), dominio de conmutación de paquetes (dominio PS) y el dominio broadcast (dominio BC). El equipamiento del dominio CS provee servicio sobre circuitos a los usuarios, o provee las entidades relacionadas a las conexiones de señalización. Específicamente, este cubre las siguientes entidades: MSC, GMSC, VLR e IWF. El dominio PS provee servicios de datos sobre paquetes para usuarios, incluye las siguientes entidades específicas: SGSN y GGSN. Otro equipamiento, por ejemplo, HLR (o HSS), AuC y EIR son compartidos por el dominio CS y PS.

La estructura general de una red WCDMA está definida en 3GPP TS 23.002. Actualmente existen las siguientes 3 revisiones, según se detalla en el Anexo 2.

- R99 – 3GPP TS 23.002.
- R4 – 3GPP TS 23.002.
- R5 – 3GPP TS 23.002.

2.4 Principios Tecnológicos del WCDMA

2.4.1 Receptor Rake

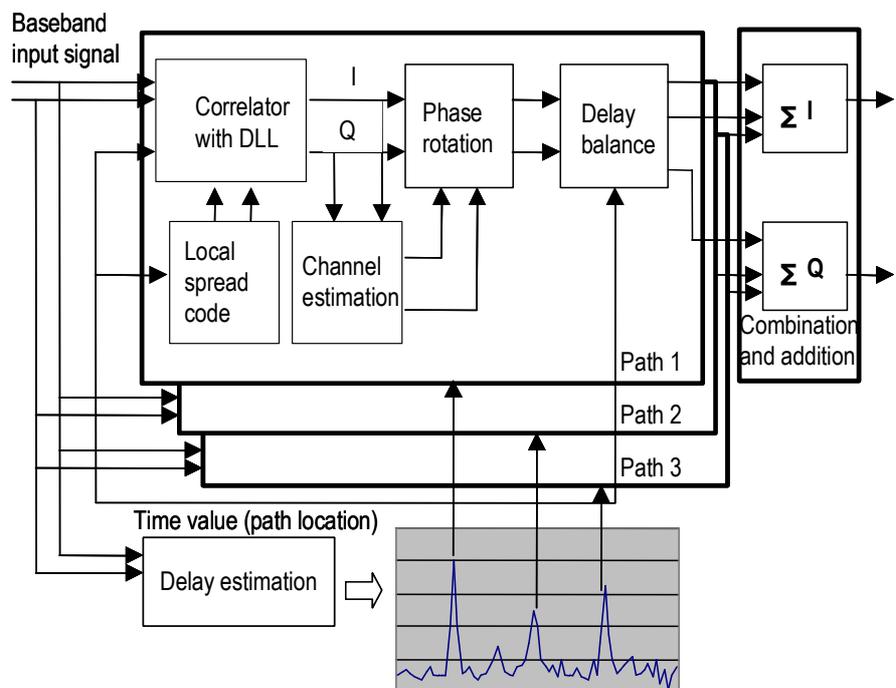


Figura 2.9 Diagrama de bloques del receptor Rake

Fuente: Tutorial Huawei

En un canal multitrayecto, la señal transmitida se refleja en los obstáculos en su camino hacia el receptor, y el receptor recibe varias copias de la señal original con diferentes retardos. La señal multitrayecto puede ser recibida y combinada usando el receptor RAKE. Un receptor RAKE está hecho de filtros correlacionados entre sí, también conocidos como brazos, cada uno recibe una señal de multitrayecto, Después del despreading por los subreceptores con una copia local de la versión de la señal con su respectivo retardo, las señales son combinadas. Este método mejora el rendimiento y calidad de la señal combinada (Figura 2.9).

2.4.2 Principios de Diversidad de Recepción

Para evitar el desvanecimiento de la señal (fading), existen diversas medidas como codificación/decodificación de canal, receptor anti-fading, o tecnología de espectro ensanchado, la tecnología de diversidad de recepción es considerada una de las más efectivas y económicas tecnologías anti-fading. Como sabemos, la señal recibida en un canal de radio es una combinación de varios componentes de diferentes caminos recorridos para llegar al receptor. Si las señales obtenidas al mismo tiempo de diversos caminos se pueden combinar en una señal recibida adecuadamente, el efecto del fading se reduciría. Así es como está diseñada la diversidad. Estas señales recibidas, completamente o casi independientes una de la otra, puede ser obtenida de las siguientes formas: caminos diferentes, diferentes frecuencias, diferentes ángulos y diferentes polarizaciones.

2.4.3 Codificación de canal

El esquema FEC (Forward Error Correction) pretende reducir los errores en la transmisión. La codificación por corrección de errores generalmente es llamada codificación de canal. La idea es añadir redundancia a los bits transmitidos de tal forma que bits equivocados puedan ser corregidos por el receptor. Existen muchos esquemas de corrección de errores disponibles, los cuales tienen diferentes capacidades. La opción para el esquema de codificación de canal depende de los requerimientos del canal en cuestión.

En UTRAN se emplean tres esquemas: los códigos convolucionales, los turbo códigos y los códigos no correctivos del todo. La tasa de código indica el número de bits en la entrada y el número de bits en la salida en la función de codificación de canal. En los códigos convolucionales y en los turbo códigos típicamente es de $1/2$ o $1/3$, es decir, si entra un bit salen 2 o salen 3 dependiendo del caso. En UTRAN la codificación de canal es combinada con la función de corrección de error CRC para formar una forma híbrida ARQ. Esto significa que la codificación de canal pretende arreglar tantos errores como sea posible, lo que se traduce en que el código de detección de error se aplica aunque no

haya errores. Paquetes erróneos son detectados y se indica a las capas superiores para su retransmisión. De manera más detallada, la retransmisión de los datos olvidados o corruptos depende de la capa RLC.

2.4.4 Código Convolutional

Codificación convolutional es otra forma de proteger la información contra errores de bits, los códigos convolucionales combinan las funciones de detecciones de errores usando bloques y el esquema ARQ para corregirlos. Los códigos convolucionales normalmente se utilizan cuando las limitaciones de tiempo del esquema ARQ son ajustadas o intolerantes. La información codificada debe contener suficiente información redundante para poder corregir al menos algunos de los errores que aparecen en el canal decodificado sin tener que pedir repetición, este esquema es conocido como corrección de error hacia adelante (FEC - forward error correction). El receptor no solicita una retransmisión cuando un error no es detectado pues intenta solucionar los errores por sí mismo. Los códigos convolutional son diferentes de los códigos de bloques porque ellos operan continuamente sobre el flujo de información, ellos también tienen memoria, que significa que los bits de salida no solo dependen de la actual entrada de bits, sino también de varios bits de entrada precedentes. Un código convolutional puede ser descrito utilizando el formato (n, k, m) , donde n es el número de bits de salida por palabra, k es el número de bits de entrada, y m es la longitud de la memoria del codificador. Un codificador convolutional $(3, 1, 9)$ se muestra en la figura 2.10. Este es una combinación de registros (D) y funciones XOR. Al final de la secuencia de datos codificados, el codificador convolutional agrega $m-1$ ceros a la salida de la secuencia, esto se hace periódicamente para forzar el codificador de vuelta al estado inicial; una vez que un codificador convolutional ha sido saturado con un canal lleno de errores, es imposible que este se recupere de la confusión, un reset periódico resuelve el problema.

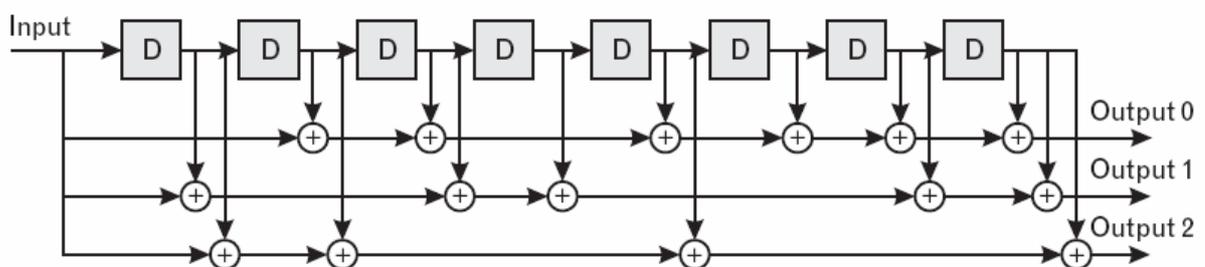


Figura 2.10 Codificador convolutional 1/3

Fuente: Introduction to 3G Mobile Communications

El codificador convolutional funciona bien contra errores aleatorios, pero son muy

vulnerables a las ráfagas de errores, que son típicos en los sistemas CDMA, el movimiento rápido de los UE's puede causar errores si el control de potencia no es lo suficiente rápido como para manejar la interferencia, este problema puede mitigarse con el entremezclado (interleaving), el cual dispersa los bits errados y hace que el codificador convolucional sea más eficiente.

2.4.5 Turbo Código

Es un código de corrección de errores utilizado en UTRAN para transferencia de datos a altas velocidades. La turbo codificación es la más eficiente para altas velocidades de transferencia de bits., esta no es compatible con bajas velocidades así como con bloques cortos de datos, esto es porque bajas velocidades significa menos bits en el turbo código del entremezclado (interleaving) interno, lo que se traduce como un desempeño pobre.

El método iterativo de este sistema ayuda a alcanzar los límites de rendimiento en corrección de errores según la teoría de Shannon. Cada decodificador utiliza los datos recibidos y la información extrínseca, que ha sido emitida por el anterior decodificador para dar datos decodificados y nueva información extrínseca. Cabe mencionar que el uso de los turbo códigos en el equipo del usuario es opcional. La estructura del codificador turbo es basado en una combinación de dos o más codificadores convolucionales como se ilustra en la figura 2.11.

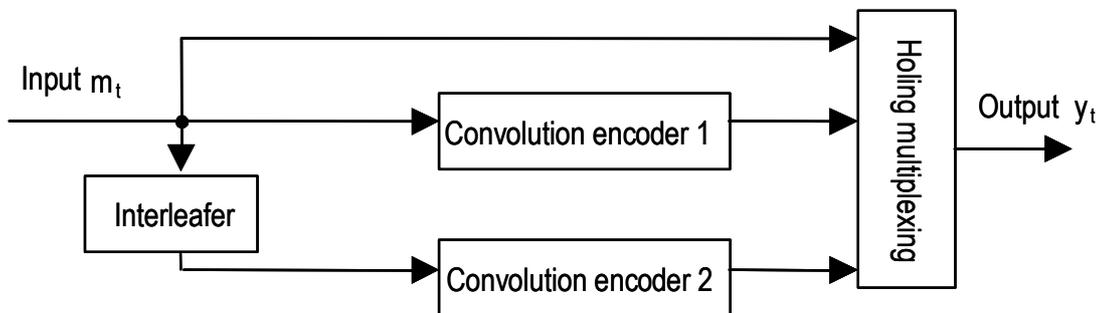


Figura 2.11 Codificador Turbo

Fuente: Tutorial Ericsson- WCDMA Wireless Technology

2.4.6 Tecnología de detección de multiusuario

La capacidad de un sistema WCDMA que utiliza receptores Rake está limitada por la interferencia, esto significa que cuando un nuevo usuario entra a la red, la calidad de los servicios de los otros usuarios se degrada, cuanto la red tenga mayor resistencia a la interferencia, estará en capacidad de servir a mas usuarios.

La técnica de detección de multiusuario (MUD – Multiuser detection) reduce los efectos

de interferencia e incrementa la capacidad del sistema. La idea del MUD es que un óptimo receptor debería detectar y recibir todas las señales simultáneamente y entonces otras señales serían substraídas desde la señal deseada. Sin embargo, el óptimo algoritmo MUD es tan complejo que han sido desarrollados receptores multiusuario subóptimos. Estos son divididos en dos categorías: detectores lineales y canceladores de interferencia. Detectores lineales aplican una transformación lineal a los resultados de los filtros combinados que están tratando de eliminar la interferencia múltiple acceso. Ejemplo de detectores lineales son los decorreladores y detectores que utilizan error cuadrático medio mínimo. Canceladores de interferencia es hecho por primera estimación de la interferencia de acceso múltiple y luego substrayendo esto desde la señal recibida. El método de cancelación de interferencia incluye cancelación de interferencia paralela (PIC parallel interference cancellation) y cancelación de interferencia serial (SIC – serial parallel interference cancellation).

2.4.7 Control de Potencia

El control de potencia eficiente es muy importante para el rendimiento de las redes CDMA. Es necesario reducir al mínimo la interferencia en el sistema, y dada la naturaleza de DS-SS (todas las señales son transmitidas usando la misma frecuencia al mismo tiempo), un buen algoritmo de control de potencia es esencial. El control de potencia es necesario tanto en el enlace ascendente y descendente, aunque por distintas razones.

En la dirección de enlace ascendente, todas las señales deberían llegar al receptor de la estación base con el mismo nivel de potencia. La estación móvil no puede transmitir utilizando el mismo nivel de potencia fijo, porque la celda sería dominada por los usuarios cercanos y los usuarios lejanos no escucharían la señal en la estación base, este fenómeno es llamado efecto cercano-lejano (near-far effect).

Este problema requiere de control de potencia en el enlace ascendente. Las estaciones móviles más lejanas de las estaciones base deben transmitir con mayor potencia que los teléfonos cercanos a las estación base. La situación es diferente en el enlace descendente, las señales descendentes transmitidas por la estación base son ortogonales, de esta forma no se interfieren unas de otras, en la dirección descendente el control de potencia también es necesario, las señales deberían ser transmitidas con el más bajo nivel de potencia pero manteniendo la calidad de la señal.

Existen 2 tipos de control de potencia, de lazo abierto y de lazo cerrado. La diferencia entre estos dos métodos es que en la de lazo cerrado, el control se da recibiendo comandos de control de potencia de la estación base, mientras que en la de lazo abierto, la entidad transmisora estima con que potencia debe transmitir por sí sola en base a la señal recibida. Ambos métodos son usados en UTRAN. El control de potencia de lazo

cerrado en UTRAN puede ser dividido en dos procesos: control de potencia dentro del lazo y fuera del lazo. El control de potencia fuera del lazo establece SIR (razón señal a ruido) mientras que el control de potencia dentro del lazo de la capa uno, ajusta la potencia de transmisión ya que el SIR medido debe ajustarse al SIR determinado por el control de potencia fuera del lazo. El ajuste es realizado por los comandos TCP (Transmit Power Control) en la entidad receptora, realiza mediciones del SIR y lo compara con el SIR propuesto. Si este es mayor, el TCP manda un 0 para indicar para indicar que la potencia se debe reducir. De lo contrario si el SIFR medido es menor al propuesto, el comando TCP manda un 1 para que la potencia se aumente. El bit de TCP es enviado en cada slot de tiempo. No existe un TCP neutral; es siempre aumentar o disminuir. El control de potencia dentro del lazo es realizado totalmente dentro de la capa 1. Este es un método muy rápido de ajustar la potencia de transmisión. Por lo tanto, este tipo de control es llamado control de potencia rápido. El control de potencia fuera del lazo es ejecutado por la capa RRC, es decir la capa 3.

2.5 Interface Aire en WCDMA

2.2.2 Spreading y Código Scrambling

El termino spreading (ensanchado) significa aumentar el ancho de banda más allá del ancho de banda requerido por una señal para acomodar la información. La figura 2.12 muestra el proceso de esparcimiento para la transmisión de una señal en banda base, así como el proceso inverso. Se pueden apreciar además, algunas de las interferencias más comunes en un canal de comunicaciones de un sistema celular.

WCDMA utiliza códigos spreading únicos para lograr extender el ancho de banda de los datos en banda base antes de la transmisión. La señal es transmitida en un canal con un nivel bajo de ruido. En el receptor se utiliza el mismo código para recuperar la señal original la cual pasa por un filtro pasa banda, Las señales no deseadas no serán recuperadas y no pasaran el filtro pasa banda. Los códigos spreading tienen la forma de una secuencia de unos y ceros diseñada cuidadosamente, de tal manera que la velocidad de estos códigos es mucho mayor que la velocidad de los datos en banda base. La velocidad de un código extendido es llamada velocidad de chip en vez de velocidad de bit. Las ventajas de una señal de espectro ensanchado comparada con otra de banda base son la seguridad, la resistencia a señales interferentes, resistencia al desvanecimiento mutitrayecto y son capaces de soportar las técnicas de acceso múltiple.

El proceso de spreading consiste de dos operaciones para UTRAN, la canalización e interleaving. De la misma formas, en UTRAN se utilizan dos familias de códigos de spreading los cuales tiene diferentes propiedades: los códigos ortogonales y los códigos pseudos ruido.

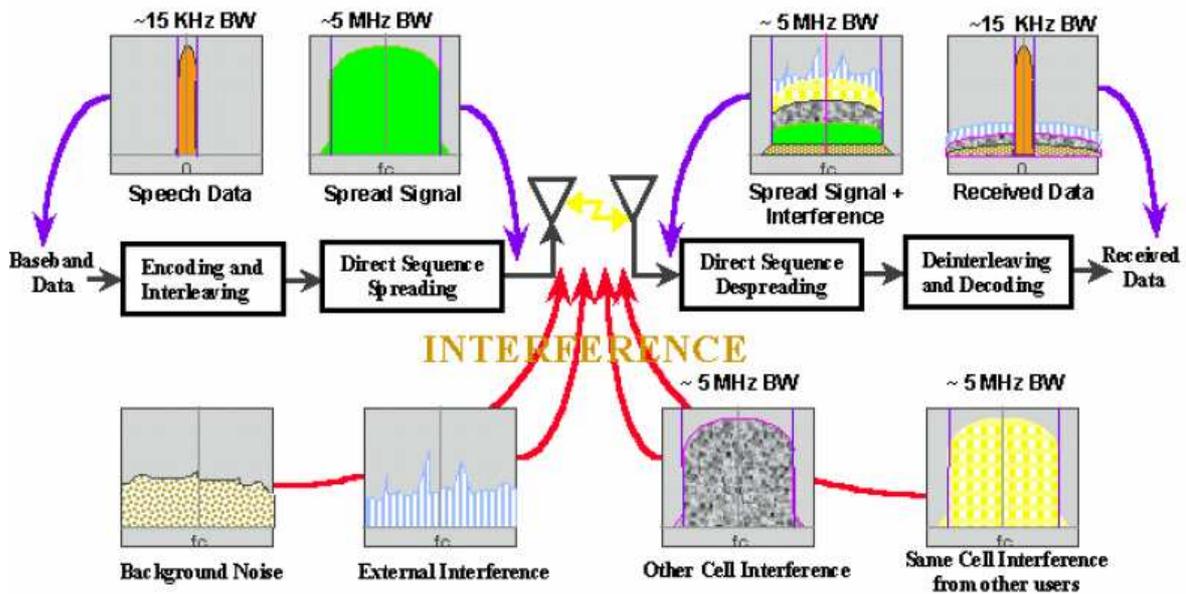


Figura 2.12 Proceso Spreading y Despreading

Fuente: Phd Arun Saha – Universidad de California Riverside

2.5.2 Técnicas de modulación de espectro ensanchado

a) Técnicas de Spreading

La información puede ser modulada en una señal de espectro extendido por muchos métodos. Esta modulación puede ser de fase o de frecuencia, o una combinación de estos dos esquemas. Cuando el spreading se realiza por una modulación de fase, se le llama señal de espectro ensanchado de secuencia directa. Cuando el spreading se obtiene por un cambio rápido en frecuencia de la portadora se le llamada señal de espectro ensanchado por salto de frecuencia. Otra forma de realizar el spreading es mediante el salto en el tiempo, en este caso, el tiempo de transmisión es dividido en intervalos llamados “tramas”, cada trama es dividida después en ranuras de tiempo. En la red de acceso de radio de UMTS (UTRAN) se utiliza la técnica de DS-CDMA

b) Códigos Spreading

En un transmisor DS-CDMA la señal de información es modulada por un código spreading (con el objetivo de hacerla una señal con un ancho de banda extendido) y en el receptor la señal original es recuperada con una réplica del mismo código.

Ensanchar el espectro como primera idea no suena muy bien, ya que el espectro de RF es muy solicitado y cada vez es más escaso, por tanto, incrementar el ancho de banda se puede convertir en un recurso muy caro. Sin embargo, existen algunas razones para creer que esto puede ser una buena opción, Una de ellas es que una señal con un ancho de banda amplio, es más resistente contra la interferencia y puede sobrevivir en un ambiente de mucho ruido. Es muy difícil de interceptar ya que el nivel de energía que

contiene la señal se esparce en todo el ancho de banda haciéndola difícil de ubicar. Permite el acceso múltiple. Brinda privacidad y la protege contra la interferencia multitrayecto. Los códigos spreading son llamados con frecuencia secuencia de ensanchado, Para la red UTRAN existen dos códigos de extendido en su interfaz aérea: los códigos ortogonales y los códigos de pseudos ruido (PN – Pseudos noise). Ambos son usados tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada.

c) Códigos Ortogonales

Los códigos ortogonales son aquellos que en un ambiente ideal no interfieren unos con otros. Para lograr esto los códigos deben estar sincronizados en tiempo. Por lo tanto pueden ser utilizados en el enlace de bajada para separar diferentes usuarios de una misma celda, pero en el enlace de subida, solo pueden separar servicios de un solo usuario. No se pueden utilizar para separar diferentes usuarios de la misma celda, debido a que los móviles no se encuentran sincronizados en tiempo unos con otros y por tanto sus códigos no pueden ser ortogonales (con excepción de que el sistema este utilizando el modo TDD con su enlace de subida sincronizado). Además los códigos ortogonales no se pueden utilizar en el enlace de bajada entre estaciones base diferentes al mismo tiempo cuando este se encuentre en los límites de la misma. Uno de estos códigos está dirigido al UE y el otro a otro usuario. Si se utilizara un solo código ortogonal, esta señal interferiría con otra de manera severa. Sin embargo en el enlace de subida las señales de un solo usuario están sincronizadas en tiempo, lo que permite que los códigos sean ortogonales y se pueden separar los canales del mismo usuario. En el enlace de bajada, el mismo árbol de códigos ortogonales es utilizado por la estación base para todos los móviles en esa celda. Un manejo cuidadoso es necesario para que una estación base no utilice otro códigos de canalización. Esto es porque los códigos de canalización se utilizan en el enlace de bajada para separar conexiones de diferentes usuarios en la misma celda.

La transmisión en el enlace de bajada de estaciones base separadas no es ortogonal, así que el UE debe distinguir primero a la estación base correcta mediante el código de scrambling y en seguida de la señal correcta extraer los datos utilizando los códigos de canalización. En conclusión, en el mundo real el enlace de bajada nunca será completamente ortogonal ni libre de ruido.

CAPITULO III

DETERMINACION DEL MERCADO POTENCIAL

3.1 Aspectos Socio-Económicos

El objetivo del presente capítulo es identificar y sintetizar los indicadores socio económicos de la población en la ciudad de Arequipa que nos ayudarán en el dimensionamiento de la red inalámbrica, determinando el mercado potencial e identificando las fases del proyecto.

3.1.1 Datos Generales

El departamento de Arequipa está ubicado en la zona Occidental del territorio Peruano, sus límites son: por el Este con Puno y Moquegua; por el Norte con los Departamentos de Ica, Ayacucho, Apurímac y Cusco; por el Sur y Oeste con el Océano Pacífico. La región de Arequipa cuenta con extensión territorial de 63.345,39 km², el cual representa el 4.9% del territorio Nacional.

El departamento de Arequipa está constituido por 8 provincias y 109 distritos, siendo la provincia de Arequipa la que reúne la mayor cantidad de distritos (29).



Figura 3.1 Provincias del Departamento de Arequipa

Fuente: [SWC2008]

3.1.2 Población Demográfica

El departamento de Arequipa en el último Censo nacional del 2007, según el volumen poblacional se ubica en el octavo lugar llegando a 1 millón 152 mil 303 habitantes, según Tabla N° 3.1 se observa que la provincia de Arequipa presenta una densidad poblacional en el 2007 de 89.26 hab/km² siendo esta la más alta del departamento producto del fenómeno migratorio, seguida por las provincias de Islay, Camaná, Castilla y Caylloma, en donde centraremos nuestro estudio para la primera etapa del despliegue pues presentan las mejores condiciones para una inversión segura.

Tabla N° 3.1. Densidad poblacional por provincias Arequipa.

Fuente: INEI, Elaboración propia.

	Superficie (km ²)	2005		2007	
		Población	Hab/km ²	Población	Hab/km ²
Dep. Arequipa	63,345.39	1,140,810	18.01	1,152,303	18.19
Arequipa	9,682.02	861,746	89.00	864,250	89.26
Camaná	3,997.73	51,314	12.84	53,065	13.27
Caravelí	13,139.41	31,477	2.40	35,928	2.73
Castilla	6,914.48	36,568	5.29	38,425	5.56
Caylloma	14,019.46	72,214	5.15	73,718	5.26
Condesuyos	6,958.40	18,963	2.73	18,991	2.73
Islay	3,886.03	51,328	13.21	52,264	13.45
La Unión	4,746.40	17,200	3.62	15,662	3.30

La información ilustrada en la Tabla N° 3.2 representa los distritos del Área Metropolitana de Arequipa, y su densidad poblacional. En cuanto a los distritos que presentan mayores concentración poblacional tenemos al distrito de Arequipa con 21971 hab/km², Alto Selva Alegre con 1,0414.9 hab/km², Yanahuara con 10,404.5 hab/km², Jose Luis Bustamante y Rivero con 7,055.4 hab/km², Paucarpata con 3,876.6 hab/km² esto con respecto a la provincia de Arequipa que es la que alberga la mayor parte de habitantes del departamento, estos datos nos ayudaran en el dimensionamiento de la capacidad de las estaciones base.

Tabla N° 3.2. Densidad poblacional por distrito.

Fuente: INEI, Elaboración propia.

Distritos Provincia Arequipa	Superficie (km ²)	2007	
		Población	Hab/km ²
Arequipa	2.8	61,519	21,971.07
Alto Selva Alegre	6.98	72,696	10,414.90
Yanahuara	2.20	22,890	10,404.55
Jose Luis Bustamante y Rivero	10.83	76,410	7,055.40
Paucarpata	31.07	120,446	3,876.60

Socabaya	18.64	59,671	3,201.23
Jacobo Hunter	20.37	46,092	2,262.74
Miraflores	28.68	50,704	1,767.92
Mariano Melgar	29.83	52,144	1,748.04
Sachaca	26.63	17,537	658.54
Cerro Colorado	174.90	113,171	647.06
Tiabaya	31.62	14,677	464.17
Cayma	246.31	74,776	303.58
Sabandía	36.63	3,699	100.98
Characato	86.00	6,726	78.21
Mollebaya	26.70	1,410	52.81
Uchumayo	227.14	10,672	46.98
La Joya	670.22	24,192	36.10
Quequeña	34.93	1,219	34.90
San Juan de Sigwas	93.31	1,295	13.88
Santa Rita de Sigwas	370.16	4,456	12.04
Yura	1,942.90	16,020	8.25
Santa Isabel de Sigwas	187.98	1,246	6.63
Chiguata	460.81	2,686	5.83
Pocsi	172.48	602	3.49
Polobaya	441.61	1,445	3.27
Yarabamba	492.20	1,027	2.09
Vitor	1,543.50	2,693	1.74
San Juan de Tarucani	2,264.59	2,129	0.94

3.1.3 Crecimiento Urbano

La tasa de crecimiento poblacional anual se ha vuelto lento, a tenor de los resultados de estadísticos disponibles, indicados en la tabla N° 3.3, para los períodos 1972-1981 (en el que el promedio anual de crecimiento poblacional fue del 3,2% en el Departamento de Arequipa), mientras que en el período 1981-1993 fue del 2,2%, y las últimas estadísticas para el periodo 1993-2007 establecieron un crecimiento promedio anual en el mismo ámbito del 1,6%.

En cuanto a la evolución por distritos, comparando el crecimiento anual promedio entre los períodos 1972-1993 y 1993-2004, se detecta un crecimiento lento, que, incluso en algunos casos, muestra una ligera pérdida poblacional. En particular, destaca que el fuerte crecimiento de distritos como Yura y Cayma (con crecimientos anuales promedio del 13% entre 1972 y 1993, se reduce a un crecimiento entorno al 4%-5%, superior al promedio pero claramente inferior al de períodos previos. El distrito de Cerro Colorado, ha experimentado igualmente un crecimiento desigual entre 1972 y 1993 (7%), y 1993-2004 (2,7%), según las proyecciones del INEI, mientras que el distrito de Paucarpata, pasó de un incremento poblacional promedio del 9% entre 1972 y 1993, a mostrar indicios de despoblación entre 1993 y 2004, a pesar de lo que continua siendo el distrito

de mayor población. Por otra parte distritos como Bustamante, Socabaya, Hunter (distrito de reciente creación) y Arequipa (que perdió población entre 1972 y 1993), han incrementado su porcentaje promedio anual de crecimiento entre los dos períodos comparados.

Tabla N° 3.3. Tasa de crecimiento anual, según departamento.

Fuente: Resultados Censo nacional 2007 INEI.

ZONA	1940-1961	1961-1972	1972-1981	1981-1993	1993-2007
NACIONAL	2.2	2.9	2.5	2.2	1.5
AREQUIPA	1.9	2.9	3.2	2.2	1.6
LIMA	4.4	5.0	3.5	2.5	2.0

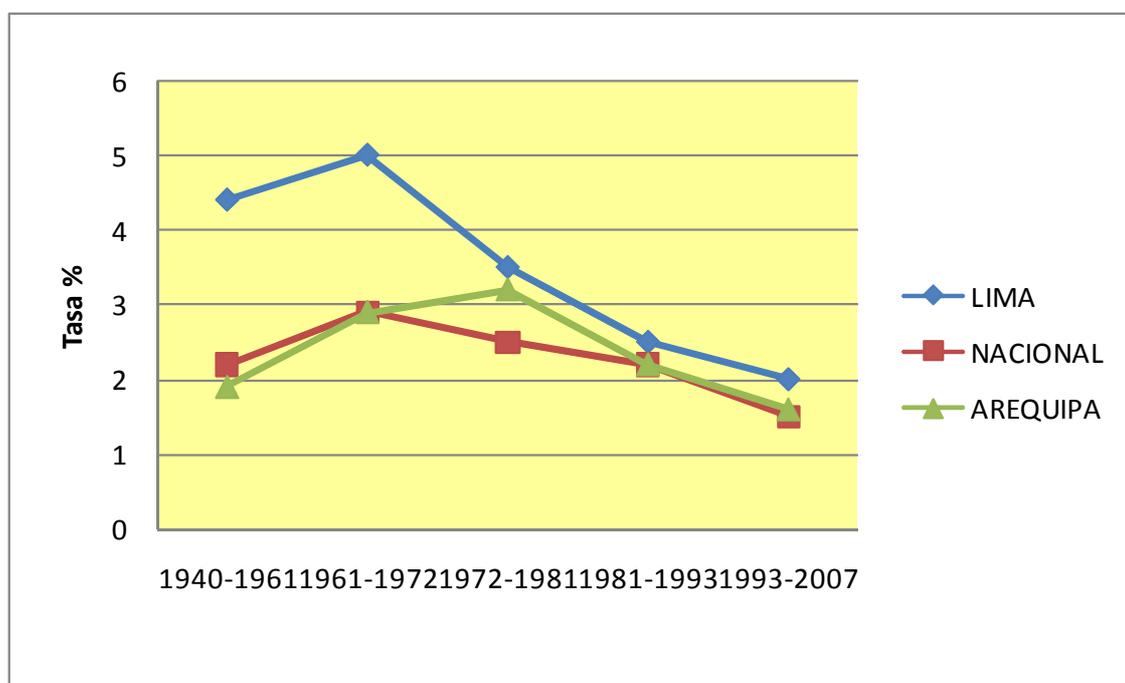


Figura 3.2. Tasa de crecimiento anual, según departamento.

Fuente: INEI, Elaboración propia.

3.2 Principales servicios de telecomunicaciones en Arequipa

Un punto importante en el desarrollo del proyecto es conocer la situación actual del mercado, para ello describiremos los servicios básicos de telecomunicaciones en la ciudad de Arequipa.

3.2.1 Telefonía Fija

En el año 2000, el número de líneas de telefonía fija en servicio en el Departamento de Arequipa fue 75 mil 420, en los años siguientes se observa un lento crecimiento de

aproximadamente 10 mil líneas por año llegando a 127 mil 658 líneas a Junio del 2008, según se muestra en la Tabla N° 3.4.

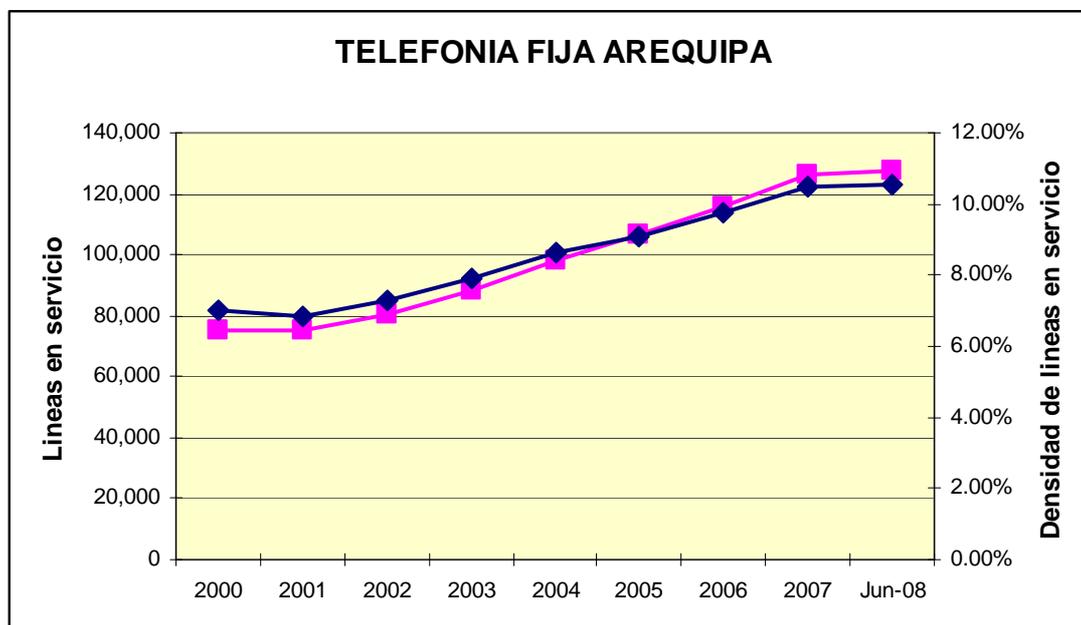


Figura 3.3 Densidad y líneas en servicio de telefonía fija.

Fuente: Osiptel, Elaboración propia.

Tabla N° 3.4 Líneas en servicio en Departamento de Arequipa.

Fuente: Osiptel, Elaboración propia.

2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Jun-08
75,420	75,085	80,492	88,641	97,931	106,961	115,743	126,388	127,658

Tabla N° 3.5 Densidad de Líneas en servicio en Departamento de Arequipa.

Fuente: Osiptel, Elaboración propia.

2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Jun-08
6.98%	6.86%	7.27%	7.91%	8.64%	9.09%	9.73%	10.50%	10.55%

En la Tabla N° 3.5 se observa la densidad del servicio de telefonía fija en el departamento de Arequipa entre el 2000 y 2006 que presentó un incremento de 4.54%, pasando de 6,98 líneas en servicio por cada 100 habitantes en el 2000 a 10.55 líneas por cada 100 habitantes en Junio del 2008.

3.2.2 Telefonía Móvil

El crecimiento de los usuarios de telefonía móvil ha sido sorprendente pasando de 154,912 usuarios en el 2003 a más de 1 millón, registrados a Junio del 2008, Tabla N°

3.6, lo cual demuestra un crecimiento exponencial como observamos en la Figura 3.4, esto nos servirá de referencia en la determinación de los usuario potenciales para el caso de estudio.

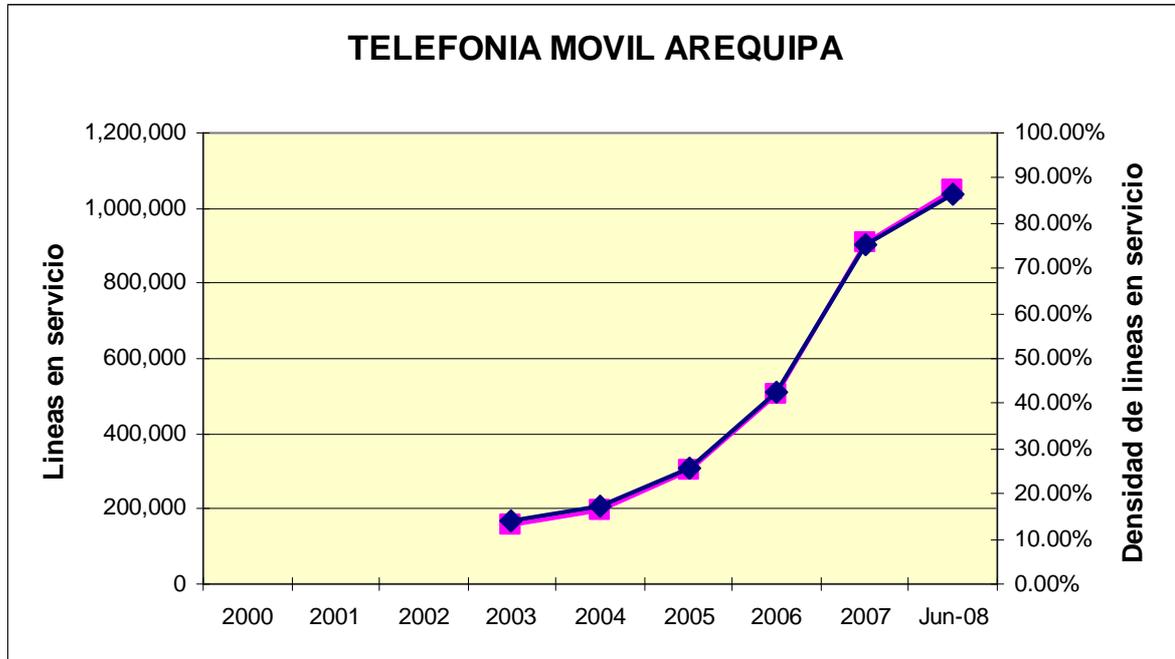


Figura 3.4 Densidad y Líneas en servicio de telefonía móvil.

Fuente: Osiptel, Elaboración propia.

Tabla N° 3.6 Líneas en servicio en Departamento de Arequipa.

Fuente: Osiptel, Elaboración propia.

2003	2004	2005	2006	2007	Jun-08
154,912	196,317	305,259	504,953	906,511	1,048,568

En la Tabla N° 3.7 se refleja claramente el crecimiento de la penetración de la telefonía fija en la ciudad de Arequipa llegando a 86.63% en Junio del 2008.

Tabla N° 3.7 Densidad de Líneas en servicio en Departamento de Arequipa.

Fuente: Osiptel, Elaboración propia.

2003	2004	2005	2006	2007	Jun-08
13.83%	17.43%	25.71%	42.45%	75.34%	86.63%

3.2.3 ADSL

En los indicadores de servicio de acceso a Internet presentados por Osiptel no

especifican el número de usuarios por departamento, en tal sentido, para determinar el número de usuarios que utilizan el servicio ADSL en el departamento de Arequipa se utilizará un porcentaje del número total de subscriptores, dicho porcentaje será calculado como la división entre el valor de la PEA en Arequipa entre el número total de la PEA a nivel Nacional para el año 2007. Revisando la Tabla N° 3.8, se concluye que el crecimiento de usuarios ADSL en Arequipa y a nivel nacional se incrementa de forma acelerada, el boom del acceso a Internet ha representado el éxito de las tecnologías ADSL, es así que se observa un aproximado de 28 mil usuarios ADSL a fines del 2007.

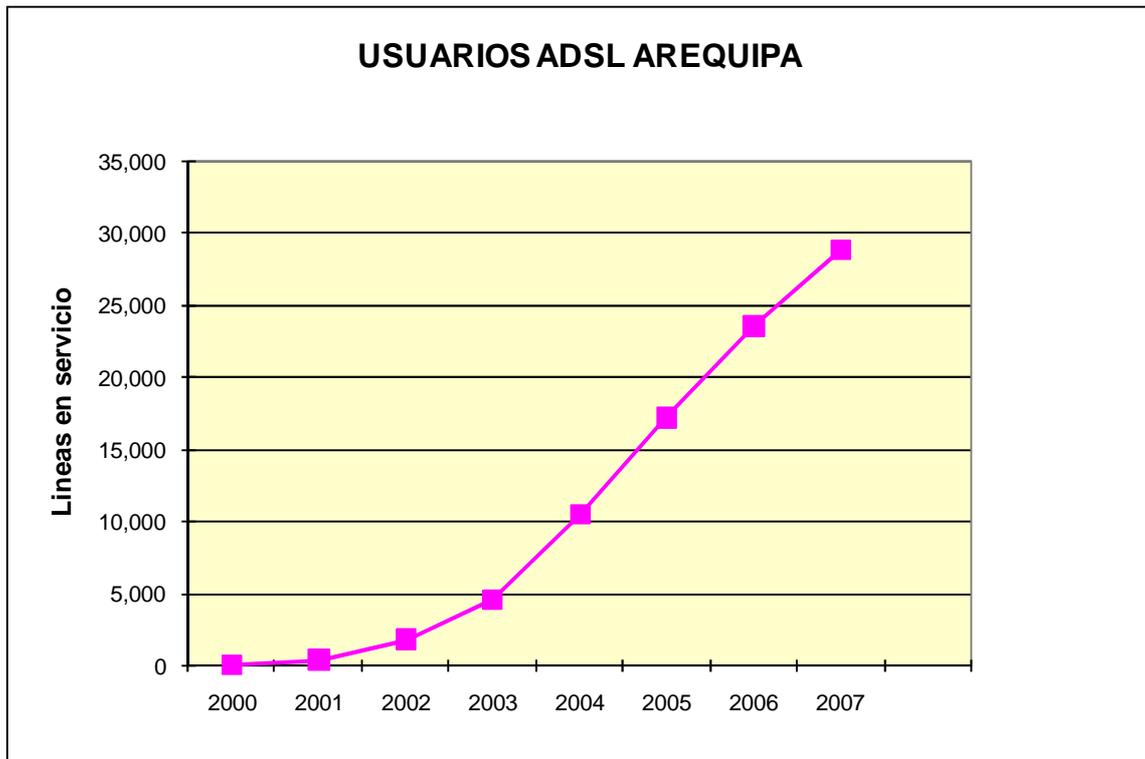


Figura 3.5 Líneas en servicio ADSL del Departamento de Arequipa

Fuente: Osiptel, Elaboración propia.

Tabla N° 3.8 Usuarios con servicio ADSL en el Departamento de Arequipa.

Fuente: Osiptel, Elaboración propia.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Arequipa (5%)	41	385	1,773	4,532	10,433	17,192	23,555	28,806
TOTAL (100%)	820	7,707	35,468	90,643	208,650	343,831	471,093	576,121

3.3 Determinación del Mercado Potencial

Luego del análisis realizado en capítulo 3.2, ahora contamos con una mejor referencia

respecto al mercado de las telecomunicaciones en la ciudad de Arequipa. A continuación se analizarán las ventajas del despliegue de una red inalámbrica frente a una red fija; se presentarán además las estimaciones de nuestro mercado potencial basado en la elección del escenario idóneo al proyecto.

Una de las principales ventajas de la red de acceso UMTS - HSDPA es la facilidad de despliegue debido a su naturaleza inalámbrica. Por tal motivo, no necesita de una infraestructura fija en comparación con el servicio ADSL que sí lo requiere. Esto quiere decir que aun existen muchos lugares en el Perú donde las empresas de telecomunicaciones aun no han tendido cobre y por lo tanto no puede brindar los diferentes servicios a altas velocidades; sin embargo, la verdadera razón por la cual no se brindan los servicios de telecomunicaciones en zonas de baja penetración es porque nada les garantiza a las empresas la recuperación de la inversión realizada en la infraestructura de la red. En otras palabras, ellos no están pensando desplegar infraestructura fija en estas zonas porque saben que no van a recibir los suficientes ingresos como para sostener dicha red.

Por tal motivo, la solución que propone el despliegue de una infraestructura inalámbrica UMTS – HSDPA en la banda de 900 MHz, considerando la fortaleza de este rango de frecuencia acorde a la geografía de la zona, es la mejor alternativa para países en vías de desarrollo como el Perú.

La red de acceso UMTS - HSDPA, ofrece una mayor velocidad de transmisión, tanto en la subida como en la bajada, comparándola con las velocidades que nos ofrecen los servicios actuales que en la mayoría de los casos no llega ni a 1Mbps por cliente. Otra de las principales ventajas de la red de acceso UMTS - HSDPA son los bajos costos de instalación y por ende de los servicios que se ofrecerán con dicha red ya que la inversión necesaria para el despliegue de esta red inalámbrica es menor a la que se tendría que realizar con el despliegue de una infraestructura fija, basta con entrar a cualquiera de los foros de telecomunicaciones que existen en nuestro país para darse cuenta de la insatisfacción de los clientes de alta velocidad debido a los elevados costos de los servicios y a que estos no son proporcionales a la velocidad que les ofrecen.

3.3.1 Evaluación de escenarios de Demanda Potencial

A continuación se detallarán tres posibles escenarios sobre los cuales se determinará el número de usuarios 3G (sin servicios de datos) y usuarios HSDPA, para ello tomaremos como base las cifras de la población económicamente activa en la ciudad de Arequipa del último Censo Poblacional del 2007 (tabla N° 3.9), debido a que la PEA tiene 2 partes: ocupada y desocupada, todos nuestros cálculos se basarán utilizando la PEA ocupada, pues esta es la que genera los ingresos.

Tabla N° 3.9 Tasas de ocupación y desempleo, por sexo y departamento, 2007

Fuente: Censo Nacional 2007 - INEI

	PEA 2007			No PEA
	TOTAL	OCUPADA	DESOCUPADA	
Arequipa	362,097	340,701	21,396	418,581
Camaná	23,206	22,182	1,024	24,016
Caravelí	17,135	16,677	458	14,763
Castilla	17,015	16,479	536	16,846
Caylloma	33,813	32,911	902	30,674
Condesuyos	8,683	8,408	275	8,160
Islay	22,701	21,271	1,430	24,585
La Unión	5,951	5,843	108	7,468

Para calcular la PEA de los próximos años se utilizará la tasa de crecimiento promedio anual de la PEA por departamentos, representada en la tabla N° 3.10, en el caso del departamento de Arequipa se utilizará una tasa de crecimiento anual de 3.2%.

Tabla N° 3.10 Tasa de crecimiento promedio anual de la PEA

Fuente: Censo Nacional 2007 – INEI

	PEA		Crecimiento prom. Anual (%)
	1993	2007	
TOTAL	7,159,228	10,637,880	2.8
LIMA	2,398,324	3,744,947	3.2
AREQUIPA	309,482	487,760	3.2

En tabla N° 3.11 se muestra la PEA ocupada en Arequipa proyectada por año y desglosada por provincia, esta tabla nos servirá como punto de partida para el cálculo de los usuarios 3G y HSDPA.

Tabla N° 3.11 Tasas de ocupación y desempleo, por sexo y departamento, 2007

Fuente: Censo Nacional 2007 – INEI

	PROYECCION PEA OCUPADA				
	2007	2009	2010	2011	2012
Arequipa	340,701	362,506	374,106	386,077	398,432
Camaná	22,182	23,602	24,357	25,136	25,941
Caravelí	16,677	17,744	18,312	18,898	19,503
Castilla	16,479	17,534	18,095	18,674	19,271
Caylloma	32,911	35,017	36,138	37,294	38,488
Condesuyos	8,408	8,946	9,232	9,528	9,833
Islay	21,271	22,632	23,357	24,104	24,875
La Unión	5,843	6,217	6,416	6,621	6,833

Para determinar el número de los usuarios 3G para los tres primeros años, se considerará un porcentaje de la PEA ocupada en Arequipa, dicho porcentaje dependerá

del escenario a desarrollar. En el caso de los usuarios HSDPA, estos se determinarán como una fracción de la suma de usuarios con líneas de datos ADSL más los usuarios con líneas inalámbricas de datos en Arequipa, y estos proyectados linealmente para los años posteriores. Se está considerando que los usuarios solamente 3G (sin servicio de datos) y HSDPA (con servicio de datos) no son excluyentes mutuamente.

Escenario Optimista

Este escenario se desarrolla bajo el concepto de una economía creciente en la región, para ello se considera que los usuarios 3G serán el 80% de la PEA ocupada (tabla N° 3.12) y los usuarios HSDPA (tabla N° 3.13) representaran el 90% de los usuarios con servicios de datos en Arequipa.

Tabla N° 3.12 Proyección de usuarios 3G por año – Escenario Optimista

Fuente: Elaboración propia.

	# USUARIOS (80% PEA OCUPADA)		
	2010	2011	2012
Arequipa	299,285	308,862	318,746
Camaná	19,486	20,109	20,753
Caravelí	14,650	15,119	15,602
Castilla	14,476	14,939	15,417
Caylloma	28,910	29,835	30,790
Condesuyos	7,386	7,622	7,866
Islay	18,685	19,283	19,900
La Unión	5,133	5,297	5,466

Tabla N° 3.13 Proyección de usuarios HSDPA por año – Escenario Optimista

Fuente: Elaboración propia

	# HSDPA (90% Usuarios con Datos)		
	2010	2011	2012
Arequipa	28,405	32,049	35,265
Camaná	1,849	2,087	2,296
Caravelí	1,390	1,569	1,726
Castilla	1,374	1,550	1,706
Caylloma	2,744	3,096	3,407
Condesuyos	701	791	870
Islay	1,773	2,001	2,202
La Unión	487	550	605

Escenario Crecimiento Moderado

Este escenario se realiza considerando un crecimiento moderado en los servicios móviles, donde los usuarios 3G representan el 60% de la PEA ocupada (tabla N° 3.14) y los HSDPA el 80% de los usuarios con servicios de datos (tabla N° 3.15) en Arequipa.

Tabla N° 3.14 Proyección de usuarios 3G por año – Escenario Moderado

Fuente: Elaboración propia

	# USUARIOS (60% PEA OCUPADA)		
	2010	2011	2012
Arequipa	224,464	231,646	239,059
Camaná	14,614	15,082	15,564
Caravelí	10,987	11,339	11,702
Castilla	10,857	11,204	11,563
Caylloma	21,683	22,377	23,093
Condesuyos	5,539	5,717	5,900
Islay	14,014	14,462	14,925
La Unión	3,850	3,973	4,100

Tabla N° 3.15 Proyección de usuarios HSDPA por año – Escenario Moderado

Fuente: Elaboración propia

	# HSDPA (80% Usuarios con Datos)		
	2010	2011	2012
Arequipa	25,249	28,488	31,347
Camaná	1,644	1,855	2,041
Caravelí	1,236	1,394	1,534
Castilla	1,221	1,378	1,516
Caylloma	2,439	2,752	3,028
Condesuyos	623	703	774
Islay	1,576	1,779	1,957
La Unión	433	489	538

Escenario Pesimista

Considerando un limitado crecimiento de la economía y de los servicios móviles, se desarrolló este escenario que involucra el 40% PEA ocupada para calcular los usuarios 3G (tabla N° 3.16) y 70% de los usuarios con servicios de datos para el cálculo de los usuarios HSDPA (tabla N° 3.17) en Arequipa.

Tabla N° 3.16 Proyección de usuarios 3G por año – Escenario Pesimista.

Fuente: Elaboración propia

	# USUARIOS (40% PEA OCUPADA)		
	2010	2011	2012
Arequipa	149,642	154,431	159,373
Camaná	9,743	10,055	10,376
Caravelí	7,325	7,559	7,801
Castilla	7,238	7,470	7,709
Caylloma	14,455	14,918	15,395
Condesuyos	3,693	3,811	3,933
Islay	9,343	9,642	9,950
La Unión	2,566	2,648	2,733

Tabla N° 3.17 Proyección de usuarios HSDPA por año – Escenario Pesimista.

Fuente: Elaboración propia

	# HSDPA (70% Usuarios con Datos)		
	2010	2011	2012
Arequipa	22,093	24,927	27,429
Camaná	1,438	1,623	1,786
Caravelí	1,081	1,220	1,343
Castilla	1,069	1,206	1,327
Caylloma	2,134	2,408	2,650
Condesuyos	545	615	677
Islay	1,379	1,556	1,712
La Unión	379	428	470

En el anexo B se detalla los usuarios 3G UMTS – HSDPA por distrito, de las 8 provincias del departamento de Arequipa para el escenario moderado.

3.3.2 Elección del escenario a estudiar

Después de estudiar los escenarios optimista, moderado y pesimista; y calcular la cantidad de usuarios para cada escenario, concluimos que el escenario que presenta las mejores condiciones para nuestro estudio es el de crecimiento moderado, pues nos permite realizar una inversión segura y evitar caer en excesos financieros o evitar realizar una pequeña inversión que no esté acorde con las necesidades del departamento, ocasionando la pérdida de la calidad del servicio a causa de una limitada inversión. Por el contrario realizar una excesiva inversión impedirá realizar una futura actualización de tecnologías debido al retorno negativo de la inversión.

El escenario de un crecimiento moderado nos permitirá garantizar una red con una óptima calidad y adecuada escalabilidad, lo cual adolecen las actuales redes, y obtener un rápido retorno de inversión para poder posteriormente evolucionar a una nueva tecnología acorde a las nuevas necesidades de los usuarios en la zona.

3.4 Principales productos a ofrecer con el UMTS – HSDPA

Finalmente en este capítulo se definirán los paquetes con los servicios que se ofrecerán a nuestros clientes, para ello debemos realizar una evaluación del mercado, lo cual nos lleva a revisar la calidad, la escalabilidad, la seguridad y las altas velocidades de transmisión de datos móviles, nos permitirán distinguir las diversas necesidades del cliente.

Los servicios que se ofrecen actualmente, revisados en el capítulo 3.2, requieren cada vez de mayor calidad, es por esto que para garantizarla las aplicaciones cada vez requieren de mayores velocidades. Adicionalmente teniendo en cuenta la convergencia

de los servicios de telecomunicaciones se hace necesario que una misma red esté preparada para soportar grandes cantidades de transferencia de datos, lo cual es posible con una red 3G UMTS – HSDPA.

Según se indica en la figura 3.6, en el cual se muestra una comparación de las diversas tecnologías móviles, evaluando el costo, movilidad y tasa de transmisión, una red UMTS – HSDPA nos brinda grandes ventajas para los 3 indicadores, siendo el costo un indicador vital para nuestro estudio y en particular en el contexto Peruano. Como conclusión el despliegue de una red UMTS – HSDPA resulta menos costoso en comparación con otras tecnologías, lo cual se reflejará al usuario; adicionalmente se debe considerar que el usuario en estos tiempos está interesado en conectarse a Internet en cualquier momento y en cualquier lugar,

A continuación revisaremos los planes o paquetes que se ofrecerán a nuestros clientes proyectados y detallar los principales servicios a brindar como Telefonía, Video Llamada y Acceso a Internet, sobre este último será posible montar diversas aplicaciones como IPTV, Skype, etc.

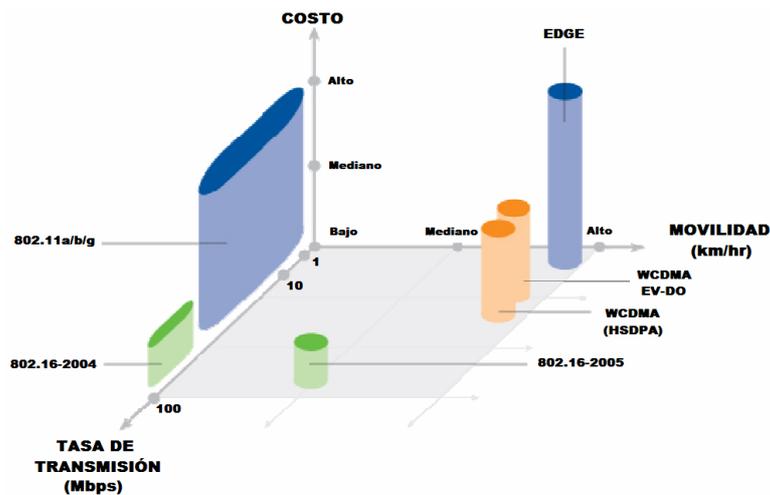


Figura 3.6 comparación de la principales tecnologías

Fuente: [ALV2008]

3.4.1 Paquete Básico

El paquete básico contempla los servicios de llamada de voz, videollamada y el servicio Internet Móvil, este último tendrá cargo gratuito durante el 1er mes de afiliación si el usuario está sujeto a la firma de una cláusula de permanencia de 12 meses por concepto de tarifas especiales. En la tabla N° 3.18 se detallan los planes del paquete básico y sus tarifas con los cargos fijos de S/. 100, S/. 70, S/. 55.

Tabla N° 3.18 Plan Tarifario Planes Básicos.

Fuente: Operadores Móviles, Elaboración propia

Plan Tarifario	Tarifas Incluidas							
	ONNET Nacional	OFFNET a Fijo Local	OFFNET a Otros Celulares Local	OFFNET a Fijo Nacional	OFFNET a otros celulares Nacional	SMS Nacional	SMS Interna.	MMS
Básico 100	0.40	0.50	1.30	1.36	2.16	0.10	0.50	0.75
Básico 70	0.70	0.90	1.40	1.76	2.26	0.10	0.25	0.75
Básico 55	0.86	1.25	1.72	2.11	2.58	0.25	0.50	0.75

Terminado el 1er mes, es posible contratar el servicio de Internet Móvil como consumo adicional a su plan básico contratado. El acceso a Internet Móvil será posible en las zonas que cuenten con cobertura de 3.5G. Es posible tomar medidas preventivas y correctivas en caso de que el usuario presente abuso del servicio, con el fin de evitar fraude. El servicio de Internet Móvil que se contrata es para uso personal, no comercial y no se puede revender, por lo tanto el usuario tendrá derecho a usar una máxima cantidad de Mb (indicado en cada plan) durante el mes y en caso de exceder esta capacidad se percibirá una disminución en la velocidad.

Si se cuenta con el paquete básico de voz y videollamada, el costo aproximado por Kb en el servicio de Internet móvil será de S/. 0.009

Tabla N° 3.19 Plan Tarifario Planes de datos.

Fuente: Operadores Móviles, Elaboración propia

PAQUETES DE DATOS	MB incluidos	Velocidad a 200kbps	Velocidad a 700Kbps	Paquetes de Datos + BAM 1500 Kbps
Internet 100 MB	100 MB	S/. 59.00	S/. 79.00	S/. 99.00
Internet 1000 MB	1000 MB	S/. 79.00	S/.99.00	S/.139.00
Internet Ilimitado	ilimitado	S/. 99.00	S/.129.00.0	S/. 199.00

El cargo básico del servicio Internet Móvil NO INCLUYE minutos de voz a móvil, video llamadas, mensajes de texto (SMS), ni mensajes multimedia (MMS). Estos consumos se facturan como un servicio adicional a las tarifas correspondientes al plan de voz o de Internet Móvil contratado.

Los contenidos que se descarguen como Ringtones, videos, juegos, etc. serán cobrados como consumo adicional al plan o paquete de Internet Móvil contratado.

3.4.2 Paquete de Datos

Los paquetes de datos consideran el servicio de Internet Móvil, considerando diversas velocidad de navegación incluido Banda Ancha Móvil (BAM), el costo por Kb en este paquete será de S/. 0.01.

Para promocionar el servicio de Banda Ancha Móvil (BAM), se incluirá en este paquete el financiamiento de una notebook con 3 formas de pago: en cuotas de 6, 24 y 12 meses, según se detalla en la tabla N° 3.21.

Tabla N° 3.20 Plan Tarifario Planes de datos.

Fuente: Operadores Móviles, Elaboración propia

PAQUETES DE DATOS	MB incluidos	Velocidad a 200kbps	Velocidad a 700Kbps	Paquetes de Datos + BAM 1500 Kbps
Internet 100 MB	100 MB	S/. 60.00	S/. 80.00	S/. 100.00 (*)
Internet 1000 MB	1000 MB	S/. 80.00	S/.100.00	S/.140.00 (*)
Internet Ilimitado	Ilimitado	S/. 100.00	S/.130.00.0	S/. 200.00 (*)

(*) Accede a la promoción de una notebook.

Tabla N° 3.21 Forma de pago en cuotas mensuales

Fuente: Operadores Móviles, Elaboración propia

Forma de pago	Modelo 1	Modelo 2
36 meses	S/. 119	S/. 129
24 meses	S/. 169	S/. 179
12 meses	S/. 289	S/. 299

Beneficios de Banda Ancha Móvil (BAM)

La Banda Ancha Móvil tiene muchos beneficios:

- Ingresa a Internet con la velocidad que tú elijas.
- No tendrás límites de navegación, podrás estar todo el tiempo que quieras, en cualquier lugar conectado y pagarás siempre lo mismo.
- Mantente en contacto con tus amigos, compañeros o familiares mediante correo electrónico o servicios de mensajería desde el lugar en que te encuentres.
- Obtén desde Internet información, contenidos, entretención, envía o recibe archivos

desde tu computador en cualquier momento y lugar.

- Lleva tu Banda Ancha Móvil donde tú quieras, a la universidad, al trabajo, en tus viajes o vacaciones y siempre podrás mantenerte conectado.

Para acceder desde tu notebook o computador de escritorio al servicio de Banda Ancha Móvil requieres un modem conectado a tu computador.

Los módems de datos permitirán a tu PC o notebook tener acceso a Internet. Una PC Card o tu teléfono celular conectado a la PC o notebook y con la instalación de los drivers proporcionados por el fabricante del terminal celular, permitirán acceder a la red de datos con solo configurar el APN proporcionada por el operador.

CAPITULO IV

INGENIERIA DEL PROYECTO

El presente capítulo tiene como objetivo realizar la representación geográfica de los elementos de la red, detallando los pasos a seguir para el diseño de la red UMTS-HSDPA en Arequipa Metropolitana, estimando la cobertura, capacidad de la red y calidad del servicio; basado en los usuarios objetivos para los diversos servicios definidos en los capítulos anteriores.

4.1 Ubicación de la demanda.

A continuación determinaremos la ubicación geográfica de los usuarios objetivos descrita en el capítulo 3. Nuestro estudio se centrará en el área metropolitana de la provincia de Arequipa, para lo cual se ha calculado la densidad de usuarios potenciales por distritos (tabla N° 4.1), como el cociente entre la proyección de usuarios UMTS – HSDPA (tabla N° 3.14 y 3.16) y la superficie territorial de cada distrito del área metropolitana de Arequipa (tabla N° 3.2), donde destacan los distritos Arequipa, Alto Selva Alegre, Yanahuara, Jose Luis Bustamante y Rivero, Paucarpata, Socabaya, Jacobo Hunter, Miraflores, Mariano Melgar, Cerro Colorado y Cayma.

Tabla N° 4.1 Densidad de usuarios – distritos área metropolitana.

Elaboración propia

Distritos Provincia Arequipa	Superficie (km ²)	Densidad de usuarios (sub/km ²)		
		2010	2011	2012
Arequipa	2.80	6,099.8	6,295.0	6,496.4
Alto Selva Alegre	6.98	2,690.9	2,777.0	2,865.9
Yanahuara	2.20	2,873.4	2,965.3	3,060.2
Jose Luis Bustamante y Rivero	10.83	1,858.5	1,917.9	1,979.3
Paucarpata	31.07	988.0	1,019.6	1,052.2
Socabaya	18.64	848.5	875.6	903.6
Jacobo Hunter	20.37	568.3	586.5	605.3
Miraflores	28.68	478.3	493.6	509.4
Mariano Melgar	29.83	445.9	460.1	474.8
Cerro Colorado	174.90	164.5	169.8	175.2
Cayma	246.31	76.6	79.0	81.5

Este cálculo nos permitirá conocer la ubicación geográfica de la demanda del servicio y como consecuencia la posible ubicación de las estaciones base o Nodos B, en la figura 4.1, se muestra el mapa de los distritos del área metropolitana de Arequipa donde se ha destacado los distritos con mayor densidad de usuarios objetivos.

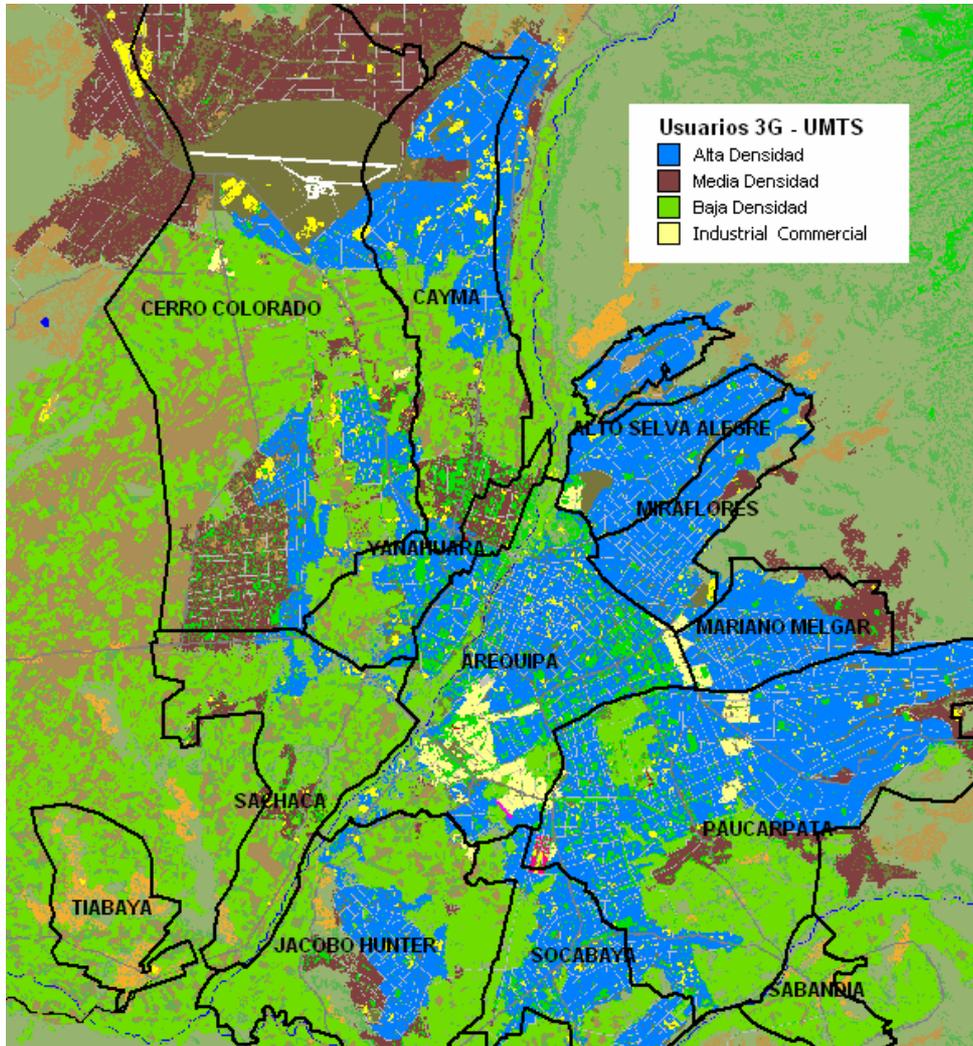


Figura 4.1 Densidad de usuarios UMTS-HSDPA por distrito.

Elaboración propia

Las áreas resaltadas en azul indican las zonas de alta densidad de usuarios UMTS-HSDPA, donde se debe garantizar la ubicación de las estaciones base, las zonas en color marrón indican las zonas donde se debe garantizar cobertura, estas recomendación se tomaran con el fin de asegurar el retorno de la inversión.

4.2 Diseño de Red

4.2.1 Determinación del número de Nodos B

Para determinar el número de nodos B, necesarios para garantizar la cobertura y

capacidad de usuarios dentro del área metropolitana de Arequipa, realizaremos dos procesos de dimensionamiento.

En primer lugar calcularemos el número de nodos B, basado en la predicción de cobertura utilizando el modelo de propagación para macroceldas de Okumura Hata, recomendado para frecuencias entre 150 MHz y 1500 MHz. Posteriormente realizaremos el cálculo de nodos B, estimando la capacidad de tráfico soportado por nodo B en el área metropolitana de Arequipa, Finalmente se tomará en cuenta la mayor cantidad de nodos B determinados en ambos procesos, como el número absoluto de estaciones base a ser ubicadas geográficamente, según el estudio de ubicación de demanda.

a. Cálculo de Nodos B por radio propagación

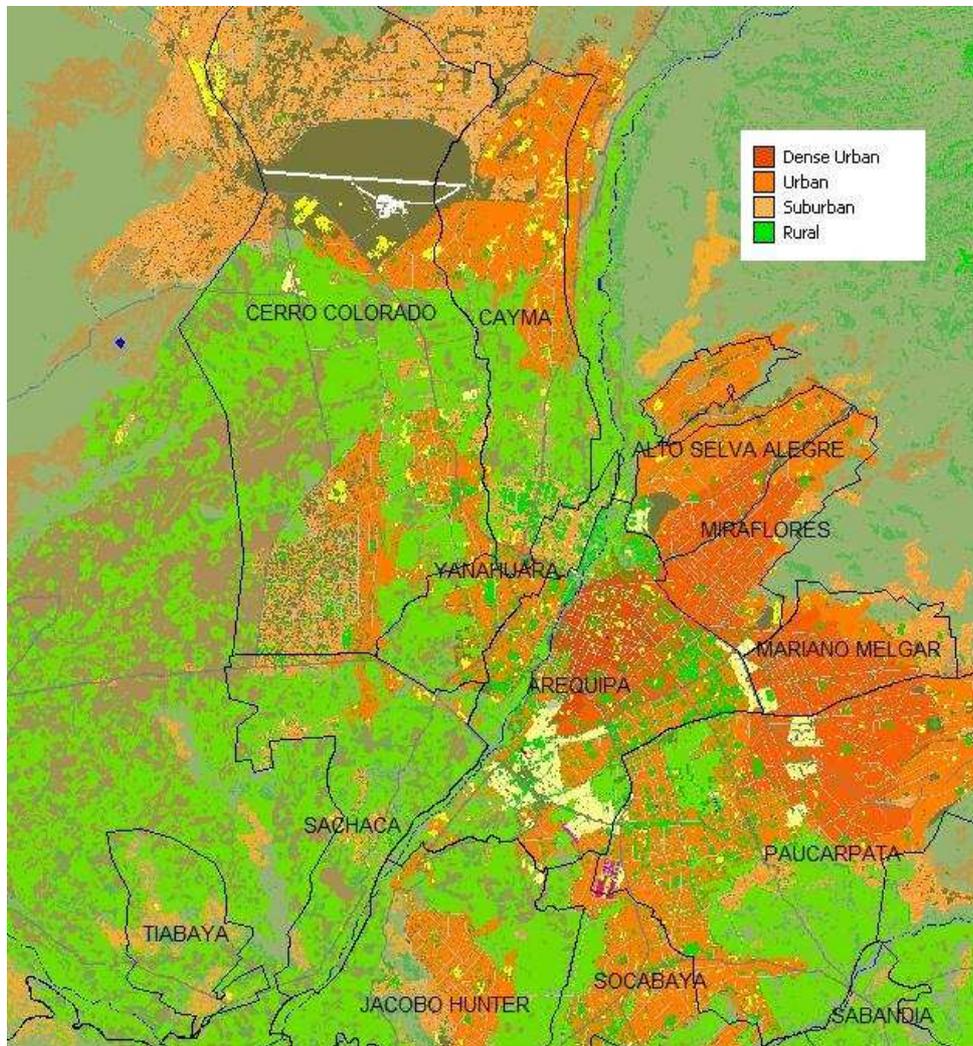


Figura 4.2 Mapa de áreas de propagación de Arequipa metropolitana

Elaboración propia

Para realizar un cálculo eficiente del área de cobertura por sitio, diferenciaremos las

áreas de coberturas en 3 tipos, urbano denso, urbano y suburbano, la figura 4.2 muestra el mapa de Arequipa metropolitana indicando el tipo de área y la tabla N° 4.2 resume el área en Km² de la superficie en estudio.

Tabla N° 4.2 Densidad de usuarios – distritos área metropolitana.

Elaboración propia

Clutter	Superficie (km ²)
Urbano Denso	15.1
Urbano	48.5
Suburbano	43.7

Las siguientes ecuaciones se toman del modelo de propagación de Okumura–Hata, este modelo presenta las siguientes restricciones, frecuencia entre 150 – 1500 MHz, distancia entre 1 – 20 Km, altura antena de estación base entre 30 – 200 m y altura de antena estación móvil entre 1 – 10 m.

$$L_H = 69.55 + 26.16 * \log(f) - 13.82 * \log(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 * \log(h_b)) * \log(d) \quad (4.1)$$

Donde:

f : Frecuencia (MHz)

h_b : Altura antena estación base (m)

h_m : Altura antena estación móvil (m)

d : Distancia entre antena transmisora y receptora (km)

$a(h_m)$: Factor de corrección para la altura de la antena móvil (dB)

Para ciudades medianas o pequeñas:

$$a(h_m) = (1.1 * \log(f) - 0.7) * h_m - 1.56 * \log(f) + 0.8 \quad (4.2)$$

Para ciudades grandes:

$$a(h_m) = \begin{cases} 8.29 * (\log(1.54h_m))^2 - 1.10 & f \leq 200\text{Mhz} \\ 3.2 * (\log(11.75h_m))^2 - 4.97 & f > 300\text{Mhz} \end{cases} \quad (4.3) \text{ y } (4.4)$$

Hata considera grandes ciudades a aquellas donde el promedio de altura de edificio es superior a 15 metros. Las formulas anteriores son validas para áreas urbanas, para el caso de áreas suburbanas y abiertas se deben utilizar las siguientes correcciones:

Área Suburbana:

$$K_r = 2 \left(\log \left(\frac{f}{28} \right) \right)^2 + 5.4 \quad (4.5)$$

$$L_H(\text{suburbano}) = L_H(\text{urbano}) - K_r \quad (4.6)$$

Área Abierta (altura de construcción promedio de 3 metros)

$$Q_r = 4.78(\log(f))^2 - 18.33 * \log(f) + 40.94 \quad (4.7)$$

$$L_H(\text{area_abierta}) = L_H(\text{urbano}) - Q_r \quad (4.8)$$

Para nuestro cálculo nos interesa despejar la variable distancia (d), para ello previamente debemos conocer las pérdidas de propagación (Path Loss) L_H , para las diversas áreas.

$$L_H(\text{dB}) = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{RF} - P_{RX} \quad (4.9)$$

Donde,

- P_{RX} Potencia de recepción (dBm)
- P_{TX} Potencia de transmisión (dBm)
- G_{TX} Ganancia antena transmisora (dBi)
- G_{RX} Ganancia antena receptora (dBi)
- L_{RF} Perdida RF (dB)

En tabla N° 4.3 se muestra el detalle de los cálculos de pérdida de propagación utilizando las ecuaciones descritas en los párrafos anteriores, se consideraron valores de entrada típicos basados en mi experiencia profesional como potencia Tx igual a 21 dBm y parámetros de antenas descritos en el capítulo 4.4.1. De esta forma obtenemos valores de pérdida de propagación para las diversos clutter.

Tabla N° 4.3 Tabla de pérdidas de propagación

Elaboración propia

Ecuacion	Parametros	Urbano Denso	Urbano	Surbano
a	Potencia Tx (dBm)	21.00	21.00	21.00
b	Ganancia antena Tx (dB)	0.00	0.00	0.00
c	Perdida de cable (dB)	0.00	0.00	0.00
d = a + b + c	PIRE Pot. Tx (dBm)	21.00	21.00	21.00
j	Densidad de ruido (dBm/Hz)	-174.00	-174.00	-174.00
q	Factor de BW (dBHz)	48.06	48.06	48.06
k	Noise Figure (dB)	4.00	4.00	4.00
m	Interferencia de ruido termal (dB)	6.99	6.99	6.99
n = j + k + m + q	Densidad Interf. de ruido N (dBm)	-114.95	-114.95	-114.95
r	Average Eb/No (dB)	3.80	3.80	3.80
t = n + r	Sensibilidad de Rx (dBm)	-111.15	-111.15	-111.15
e	Ganancia antena Rx (dBi)	17.00	17.00	17.00
f	Perdida Cable/Feeder (dB)	-2.00	-2.00	-2.00
g	Ganancia x diversidad (dB)	0.00	0.00	0.00
u	Fading Margin -frontera (dB)	-1.64	-1.64	-1.64
v	Ganancia Soft Handover (dB)	2.00	2.00	2.00
w	Perdida Indoor (dB)	-20.00	-15.00	-12.00
κ = d+t+e+f+g+u+v+w	Max Path Loss (dB)	127.50	132.50	135.50

Reemplazando los valores de pérdida de propagación en la ecuación de Okumura – Hata obtenemos la distancia de cobertura, posteriormente calcular el área de cobertura de cada site para los diversos clutters, concluyendo en el número de nodos B necesarios por clutter y cantidad total de nodos B.

Considerando en la ecuación de Okumura – Hata.

Altura UE: 1.5 m

Altura Nodo B: 35 m

Factor de corrección para la altura de la antena del móvil

Corrección zona urbana: -0.00092 dB

Corrección zona suburbana 9.94 dB

Tabla N° 4.4 Número de Nodos B por cobertura.

Elaboración propia

Ecuacion	Parametro	Urbano Denso	Urbano	Suburbano
a	Path Loss (dB)	127.50	132.50	135.50
b	Distancia (km)	1.15	1.60	3.76
c = [3*(√3)/2]*b²	Area celda (km²)	3.44	6.65	36.73
d	Clutter (km ²)	15.08	48.46	43.73
d/c	# Nodo B	4.39	7.29	1.19
		# Total de Nodos B	13	

En la tabla N° 4.4 encontramos la distancia en kilómetros por clutter aplicando el modelo de propagación de Okumura – Hata, concluyendo en 13 nodos B necesario para garantizar la cobertura del área metropolitana de Arequipa.

b. Cálculo de Nodos B por capacidad de tráfico

A continuación calcularemos la cantidad de nodos B necesarios para soportar el tráfico demandado por los usuarios objetivos, expresado en CE (channel element), un CE es considerado como el recurso consumido equivalente a un canal AMR 12.2 Kbps y un canal de señalización de 3.4kbps.

Tabla N° 4.5 Tráfico requerido – Usuarios 3G (VOZ)

Elaboración propia

Llamadas de voz	2010	2011	2012
% Usuarios	93%	93%	93%
Patron de Trafico (mErl/sub)	10.0	10.5	11.0
Bandwidth required (Mbps)	24.87	26.95	29.14
Tráfico en Erlangs Busy Hour	2,088	2,262	2,446

Tabla N° 4.6 Tráfico requerido – Usuarios Videollamada

Elaboración propia

Videollamada	2010	2011	2012
% Usuarios estimados	5%	5%	5%
Patrón de consumo (llamadas por	2	2.5	3
Tráfico al mes en minutos (2 min/ll	44,893	57,912	71,718
Bandwidth required (Mbps)	0.15	0.19	0.24
Tráfico en MB al mes	21,043	27,146	33,618

Tabla N° 4.7 Tráfico requerido – Usuarios WCDMA 384Kbps

Elaboración propia

WCDMA 384 kbps	2010	2011	2012
% Usuarios	2%	2%	2%
Patrón de consumo (MB/mes)	0.5	0.6	0.7
Bandwidth required (Mbps)	0.02	0.02	0.02
Tráfico en MB al mes	2,245	2,780	3,347

Para el caso de los servicios de conmutación de circuitos, donde están incluidas los servicios de llamadas de voz y videollamada, se consideró como perfil de tráfico promedio por usuario para el año 2010 de 10 mErl (acuerdo al tráfico reportado por las operadoras móviles), en la hora más ocupada (busy hour) de la red (tabla N° 4.5), en base a la experiencia profesional en las operadoras móviles para el caso de videollamada, se definió 2 llamadas por mes de 2 minutos de duración (tabla N° 4.6); para

redes pequeñas que inician operación. Adicionalmente se incluyó el servicio de datos por WCDMA - 384 Kbps (tabla N° 4.7) para los usuarios con oficina móvil (Blackberry, Portales UMTS). El porcentaje de usuarios definido para los servicios de voz es 93%, videollamada 5% y WCDMA - 384 Kbps es 2%, estos porcentajes son fracción de los usuarios 3G con servicio de voz indicados en la tabla N° 3.14, la distribución de estos usuarios son referencia de la actual distribución aplicada por las operadoras móviles de telecomunicaciones en el Perú. Para el caso de los servicios de conmutación de paquetes, inicialmente realizaremos el cálculo de tráfico por mes en MB y el ancho de banda requerido para soportar este tráfico para los diversos tipos de servicios a ofrecer. En la tabla N° 4.8, 4.9 y 4.10 se detalla el porcentaje de usuario proyectados por servicio como una fracción de los usuarios HSDPA totales definidos en la tabla N° 3.15, es decir el 10% de los usuarios HSDPA utilizarán velocidad de 1500 Kbps BAM, 30% de los usuarios HSDPA utilizarán el servicio de 700 Kbps y el 60% a 200 Kbps; esta distribución se ha tomado como referencia de las experiencias de las operadoras móviles en nuestro país, adicionalmente se han considerado patrones de consumo promedio en MB para los diversos servicios de datos.

Tabla N° 4.8 Tráfico requerido – Usuarios HSDPA 1500 Kbps

Elaboración propia

HSDPA 1500 Kbps	2010	2011	2012
% Usuarios estimados	10%	10%	10%
Patrón de consumo (MB/mes)	350	350	350
Bandwidth required (Mbps)	6.29	7.10	7.81
Tráfico en MB al mes	883,715	997,088	1,097,145

Tabla N° 4.9 Tráfico requerido – Usuarios HSDPA 700 Kbps

Elaboración propia

HSDPA 700 Kbps	2010	2011	2012
% Usuarios estimados	30%	30%	30%
Patrón de consumo (MB/mes)	150	150	150
Bandwidth required (Mbps)	8.09	9.13	10.05
Tráfico en MB al mes	1,136,205	1,281,971	1,410,616

Tabla N° 4.10 Tráfico requerido – Usuarios HSDPA 200 Kbps

Elaboración propia

HSDPA 200 Kbps	2010	2011	2012
% Usuarios estimados	60%	60%	60%
Patrón de consumo (MB/mes)	80	80	80
Bandwidth required (Mbps)	8.63	9.74	10.72
Tráfico en MB al mes	1,211,952	1,367,436	1,504,657

Después de haber calculado la demanda de tráfico en la hora cargada para los diversos servicios, procederemos a determinar la cantidad de CE necesarios en la red para cada servicio, la tabla N° 4.11 muestra la utilización de elementos de canal CE por tipo de portadora de tráfico y señalización, finalmente en la tabla N° 4.12 se observa el número total de CE requeridos en la red por año, obtenido a partir del tráfico por servicio y la cantidad de CE requeridos para el establecimiento de cada servicio por usuario.

Tabla N° 4.11 Uso de Channel Elements por servicio

Elaboración propia

Bearer (bps)	CE TRAFICO		SEÑALIZACION		TOTAL	
	DL	UL	DL	UL	DL	UL
PS128/HSDPA 3.6M	0	10	1	0	1	10
PS128/HSDPA 1.8M	0	5	1	0	1	5
PS64K/HSDPA 500K	0	3	1	0	1	3
PS64K/384K	8	3	0	0	8	3
AMR 12.2K	1	1	0	0	1	1
CS 64K	2	3	0	0	2	3

Tabla N° 4.12 CE requerido por año

Elaboración propia

SERVICIO	RAB		CE		CE REQUERIDOS					
					2010		2011		2012	
	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
HSDPA 1500 Kbps	HSDPA	384	1	10	4	164	5	185	5	204
HSDPA 700 Kbps	HSDPA	384	1	10	12	211	13	238	14	262
HSDPA 200 Kbps	HSDPA	64	1	3	43	405	49	457	54	502
WCDMA 384 Kbps		384	64	8	3	1	1	1	1	1
Llamadas de voz	AMR	AMR	1	1	2,088	2,088	2,262	2,262	2,446	2,446
Videollamada	64	64	2	3	5	7	6	9	8	11
					2,152	2,875	2,335	3,152	2,527	3,426

En la tabla N° 4.13, obtenemos el número de nodos B necesarios en la red para soportar el tráfico de los usuarios en la hora más cargada, considerando que un Nodo B convencional tiene capacidad para controlar 256 CE en downlink y 192 CE en uplink. En todo el procedimiento se ha calculado un requerimiento para UL y otro para DL, para finalmente tomar el máximo valor que generalmente para este tipo de tecnología corresponde al enlace de subida. Concluyendo, después de realizar los dimensionamientos en base a cobertura y capacidad, se tomara para nuestro estudio el máximo valor de nodos B obtenido de ambos cálculos, que para el caso del año 2010 corresponde al cálculo de capacidad, es decir 15 estaciones base, para los demás años según la tabla N° 4.13.

Tabla Nº 4.13 Número de Nodos B por capacidad de CE

Elaboración propia

	2010		2011		2012	
	DL	UL	DL	UL	DL	UL
CE TOTAL	2,152	2,875	2,335	3,152	2,527	3,426
Capc. Nodo B	256	192	256	192	256	192
Nodo B requer.	9	15	10	17	10	18
# Total de Nodos B			15			

4.2.2 Diseño de la Red Central

La planeación de la red central o core network UMTS consiste principalmente en el dimensionamiento del RNC, diseño del SGSN, dimensionamiento del MSC, dimensionamiento de la gestión y de las interfaces del core network.

a) Dimensionamiento de la Interface Iub

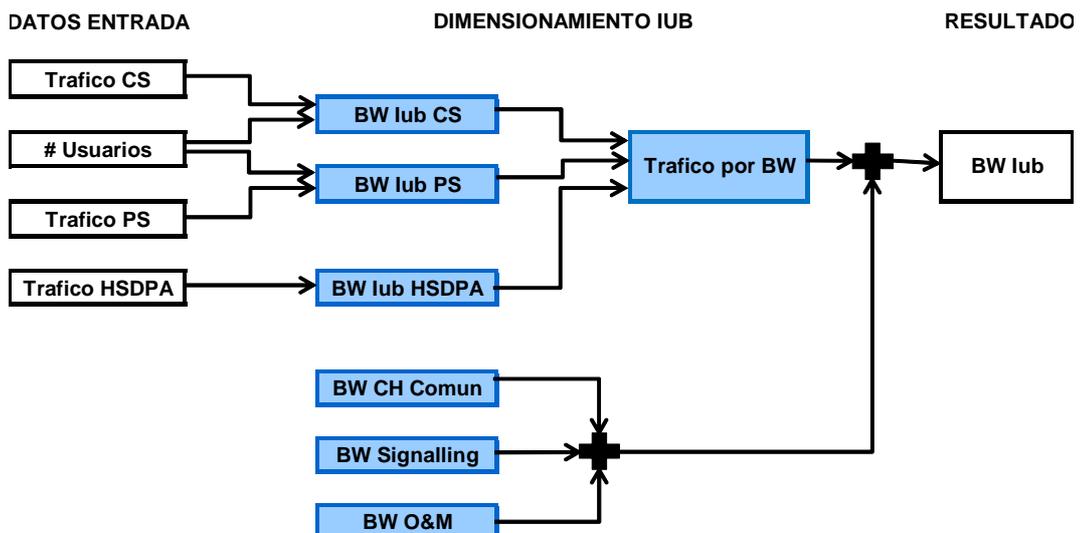


Figura 4.4 Proceso Dimensionamiento Iub

Elaboración propia

La interface entre el RNC y el Nodo B es denominada Iub, el propósito del dimensionamiento de la Iub es calcular la velocidad de transmisión requerida y obtener la cantidad de E1's necesarios por Nodo B para soportar este volumen de tráfico. Usaremos la formula de Erlang B para estimar la velocidad e transmisión de la Iub. La figura 4.4 muestra el proceso para dimensionar la Iub. Para calcular la velocidad de transmisión que requiere el tráfico CS de la Iub, se utilizara la ecuación (4.11), derivada de la suma del tráfico originada en cada Nodo B y afectada por el factor del servicio de conmutación de circuitos, según se expresa en la ecuación 4.10.

$$Iub_{CS_Prom} = \sum_i TraficoIubxNodoB_i * R_{Iub_i} \quad (4.10)$$

$$Iub_{CS_Prom} = \sum_i N_{user} * TraficoIubxUsuario_i * R_{Iub_i} \quad (4.11)$$

Donde:

$$TraficoIubxUsuario_i = TraficoxUsuario_i * (1 + R_{SHO})$$

$TraficoIubxUsuario_i$: Tráfico por usuario para el servicio CS.

R_{SHO} : Razón Soft Handover sin incluir Softer Handover (30%)

R_{Iub_i} : Factor lub para el servicio CS, incluyendo cabeceras FP, AAL2 y ATM

N_{User} : Numero de usuarios por Nodo B.

Para calcular la velocidad de transmisión requerida por el tráfico PS a la lub, se utilizara la siguiente fórmula 4.13 derivada de la ecuación 4.12.

$$Iub_{PS_Prom} = \sum_i TraficoIubxNodoB_i * R_{Iub_i} \quad (4.12)$$

$$Iub_{PS_Prom} = \sum_i N_{User} * TraficoIubxUsuario_i * R_{Iub_i} \quad (4.13)$$

Donde:

$$TraficoIubxUsuario_i = \frac{ThroughputxUsuario_i * (1 + R_{SHO}) * (1 + R_{Retransmission}) * (1 + R_{burst})}{3600 * R_i}$$

$ThroughputxUsuario_i$: Throughput por usuario para el servicio PS

R_{SHO} : Razón Soft Handover sin incluir Softer Handover.

$R_{Retransmission}$: Razón de retransmisiones.

R_{Burst} : Razón de retransmisiones.

R_i : Velocidad para el servicio PS.

En HSDPA, la velocidad de transmisión se calculará con la misma ecuación utilizada en el servicio PS, pero sin considerar el factor del Soft Handover pues no es soportado en

HSDPA. Por consiguiente, la velocidad de transmisión en Iub debido al tráfico puede ser obtenido como se muestra en la ecuación 4.14.

$$Iub_{TRAFICO} = MAX(Iub_{CS_Peak}, Iub_{CS_AVG} + Iub_{PS_AVG} + Iub_{HSDPA}) \quad (4.14)$$

Como se indica en la figura 4.4 el proceso de dimensionamiento de la velocidad de transmisión del Iub consta también del cálculo de la velocidad de transmisión por canal común, señalización y O&M, estos cálculos dependerán del tipo de transporte que se utilice, es decir ATM sobre E1, IP sobre E1 o IP sobre Ethernet, en nuestro caso nos enfocaremos en el primer escenario que es el más comercial, ATM sobre E1; en la figura 4.5 se muestra la estructura de protocolo del escenario de transporte a estudiar, adicionalmente se observa que la parte de señalización incluye las cabeceras de los partes de aplicación NBAP y ALCAP.

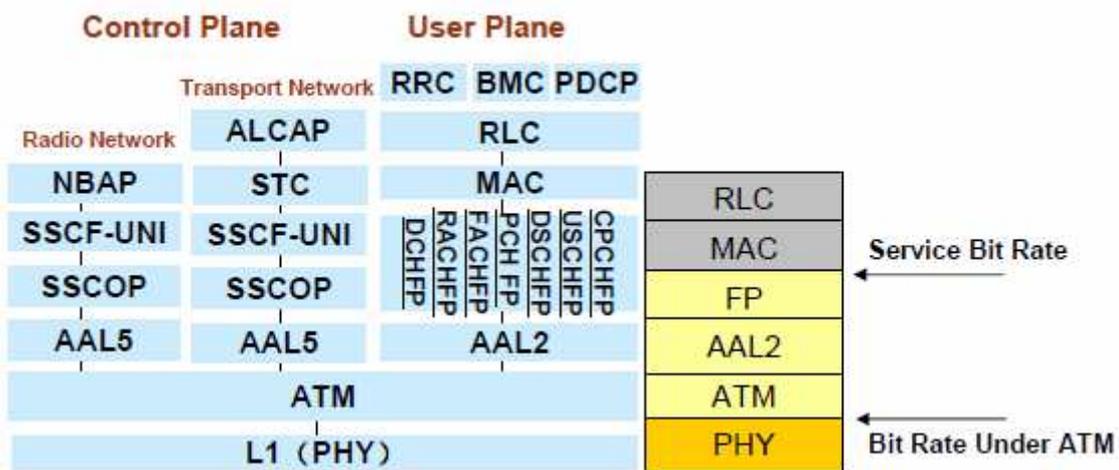


Figura 4.5 Pila de Protocolo Iub - ATM sobre E1.

Fuente: Huawei

La velocidad de transmisión por canal común principalmente incluye la utilización de recursos FACH y PCH en downlink mientras que RACH se utilizara en uplink. El 3GPP define RACH como un canal común en el sentido ascendente, para nuestro estudio consideraremos un bloque de RACH grande 360 bit, TTI= 10 ms y CRC 16, las ecuaciones 4.15 y 4.16 (recomendación de dimensionamiento de proveedores móviles), describe el cálculo de la velocidad de transmisión por canal común en uplink:

$$Th_{COMUN_UL} = \left[\left(4 + \frac{360}{8} + 5 + 3 * 2 \right) * \frac{8}{0.01} \right] * \frac{53/48}{1024} * N_{Celdas} * P_C \quad (4.15)$$

$$Th_{COMUN_UL} = 51.76kbps * N_{Celdas} * P_C \quad (4.16)$$

Donde:

Th_{COMUN_UL} : Tráfico CCCH uplink en Kbps

N_{Celdas} : Numero de celdas

P_C : Factor de actividad, considerado como 100%

Para el caso del downlink aplicaremos las formula 4.17 y 4.18.

$$Th_{COMUN_DL} = \left[\left(4 + \frac{168}{8} + 2 + 3 * 2 \right) + \left(7 + \frac{240}{8} + 2 + 3 \right) \right] * \frac{8}{0.01} * \frac{53/48}{1024} * N_{Celdas} * P_C \quad (4.17)$$

$$Th_{COMUN_DL} = 64.7Kbps * N_{Celdas} * P_C \quad (4.18)$$

Donde:

N_{Celdas} : Numero de celdas

P_C : Factor de actividad, considerado como 100%

La velocidad de transmisión requerida por señalización incluye el análisis del NCP, CCP y ALCAP, de esta forma las ecuaciones 4.20, 4.22 y 4.24 derivadas de 4.19, 4.21 y 4.23 son recomendación de dimensionamiento de proveedores

NCP

$$Th_{NCP_UL} = (4240 * N_{celdaas} + 52 * \sum TraficoxNodoB_{i,UL}) / 1024 * (1 + P_{Iub_Burst}) \quad (4.19)$$

$$Th_{NCP_DL} = 78 * \sum TraficoxNodoB_{i,DL} / 1024 * (1 + P_{Iub_Burst}) \quad (4.20)$$

CCP

$$Th_{CCP_UL} = (370 * TraficoxNodB_{AME} + 968 * \sum TraficoxNodB_i) / 1024 * (1 + P_{Iub_Burst}) \quad (4.21)$$

$$Th_{CCP_DL} = 182 * \sum TraficoxNodoB_i / 1024 * (1 + P_{Iub_Burst}) \quad (4.22)$$

ALCAP

$$Th_{ALCAP_UL} = (99 / 43 * 29 * \sum TraficoxNodoB_i) / 1024 * (1 + P_{Iub_Burst}) \quad (4.23)$$

$$Th_{ALCAP_DL} = 99 * \sum T_i / 1024 * (1 + P_{Iub_Burst}) \quad (4.24)$$

Donde:

Th_{NCP_UL} : Velocidad de transmisión NCP downlink en Kbps

Th_{NCP_DL} : Velocidad de transmisión NCP uplink en Kbps

N_{celdas} : Numero de celdas

$TraficoxNodoB_{i,DL}$: Tráfico downlink por Nodo B en Erlangs

$TraficoxNodoB_{i,UL}$: Tráfico uplink por Nodo B en Erlangs

Th_{CCP_DL} : Velocidad de transmisión CCP downlink en Kbps

Th_{CCP_UL} : Velocidad de transmisión CCP uplink en Kbps

$TraficoxNodoB_{AMR}$: Tráfico de voz por nodo B en Erlangs

Th_{ALCAP_UL} : Velocidad de transmisión ALCAP downlink en Kbps

Th_{ALCAP_DL} : Velocidad de transmisión ALCAP uplink en Kbps

La velocidad de transmisión consumida por la gestión O&M en la interface Iub es configurable a un valor típico de 64 Kbps para el tráfico uplink y downlink. Después de haber calculado la velocidad de transmisión originado por el tráfico, canal común, señalización y O&M, la velocidad de transmisión total en Iub será obtenido como el valor máximo entre el BW Iub en uplink y BW Iub downlink.

$$Iub_{UPLINK} = Iub_{TRAFICO_uplink}, Iub_{CCH_uplink} + Iub_{SEÑALIZACION_uplink} \quad (4.25)$$

$$Iub_{DOWNLINK} = Iub_{TRAFICO_downlink}, Iub_{CCH_downlink} + Iub_{SEÑALIZACION_downlink} \quad (4.26)$$

Finalmente para calcular el número de E1's requeridos por Nodo B, dividiremos la velocidad de transmisión Iub Total entre la capacidad de un E1 en Kbps, considerando que únicamente se pueden usar 30 canales debido a que 2 time slots son utilizados para señalización y control, es decir cada E1 soportar 1920 Kbps. Para finalizar aplicamos las

ecuaciones anteriores a nuestro estudio, considerando los valores iniciales indicados en la tabla N° 4.14, obtenemos el ancho de banda en lub y la cantidad de E1 por Nodo B necesarios para soportar el tráfico de los usuarios en la hora más cargada, según tabla.

Tabla N° 4.14 Dimensionamiento de la Interface lub

Elaboración propia

	Ecuacion UL	Resultado	
		UL	DL
Trafico de Voz (AMR)	$222464 * 93\% * 10mErl * (1+30\%)$	2,689.6 Erl	2,689.6 Erl
Trafico Videollamada (CS64)	$222464 * 5\% * 0,003mErl * (1+30\%)$	4.3 Erl	4.3 Erl
ErlB (Trafico de voz, GoS=0.02)	ErlB (2689,59 ; GoS=0.02)	2,782	2,782
ErlB (Trafico CS64, GoS=0.02)	ErlB (4,34 ; GoS=0.02)	10	10
BW x Trafico AMR pico	$2782 * 17,46 \text{ kbps}$	48,578.7 kbps	40,708.2 kbps
BW x Trafico CS64 pico	$10 * 78,89 \text{ kbps}$	789.0 kbps	756.5 kbps
BW Total x Trafico CS pico		49,367.7 kbps	41,464.7 kbps
BW x Trafico AMR promedio	$2689,59 * 17,46 \text{ kbps}$	46,965.1 kbps	39,355.9 kbps
BW x Trafico CS64 promedio	$4,34 * 78,89 \text{ kbps}$	342.3 Kbps	328.2 kbps
BW Total x Trafico CS promedio		52,235.2 kbps	43,817.9 kbps
BW x Trafico PS384 promedio	$222464 * 2\% * 9019,5 * (1+30\%) * (1+5\%) \dots *$	2,104.6 kbps	23.5 kbps
BW Total x Trafico PS promedio		2,323.8 kbps	26.0 kbps
BW x Trafico HSDPA 200 prom		0 kbps	15,854.6 kbps
BW x Trafico HSDPA 700 prom		0 kbps	14,863.7 kbps
BW x Trafico HSDPA 1500 prom		0 kbps	11,560.6 kbps
BW Total x Trafico HSDPA promedio		0.00 kbps	42,278.8 kbps
BW x O&M	$64Kbps * 15 \text{ NodoB}$	960 kbps	960 kbps
BW x CCH	$51,76 * 3 \text{ sectores} * 15 \text{ NodoB}$	2,329.2 kbps	2,911.5 kbps
BW x NCP	$4240 * 3 * 15 *$	431.4 kbps	7,380.1 kbps
BW x CCP		26,074.3 kbps	17,220.3 kbps
BW x ALCAP		4,002.1 kbps	10,147.7 kbps
BW Total x Trafico HSDPA promedio		33,796.9 kbps	38,619.7 kbps
BW x Total lub	$MAX (49367,7; 52235,2 + 2323,8) + 33796,9$	88,355.9 kbps	124,742.4 kbps
BW x lub x NodoB	MAX (lub UL ; lub DL)	8316.16 kbps	
# E1 por Nodo B		5	

b) Dimensionamiento de la Interface luCS

La interface luCS es el puente entre UTRAN y el Core Network CS (conmutación de circuitos). En el dimensionamiento de la Interface luCS se debe considerar el ancho de banda consumido por el Plano de Usuario (tráfico de voz CS y tráfico de datos CS- videollamada) y Plano de Control (Velocidad de transmisión de señalización).

Para nuestro diseño se utilizara interfaces STM-1 no canalizadas para dimensionar la transmisión y consideraremos la pila de protocolos de la interface luCS sobre ATM, especificado en ETSI TS 125 410, ilustrado en la figura 4.8

Como se ilustra en la figura 4.7 para poder dimensionar la interface luCS debemos calcular ambos tráficos CS (tráfico voz CS y tráfico datos CS) y señalización. El proceso para dimensionar el tráfico de voz CS tiene los siguientes pasos:

- Calcular el tráfico total de voz y data para IuCS en Erlangs.
- Calcular el throughput para tráfico voz CS y datos CS.

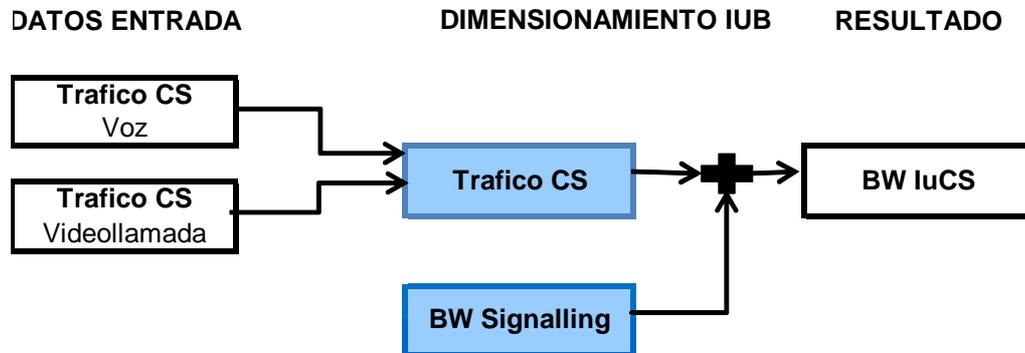


Figura 4.7 Proceso Dimensionamiento IuCS

Elaboración propia

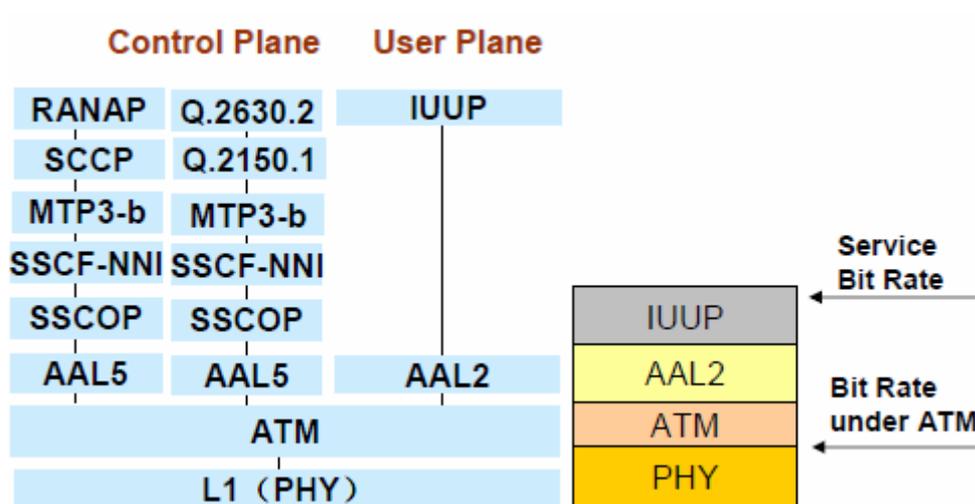


Figura 4.8 Pila de Protocolo IuCS sobre ATM

Fuente: Huawei

Calcular los Erlangs totales para tráfico de voz y datos sobre IuCS necesitamos considerar el volumen por usuario y el número de usuarios, expresado en las ecuaciones 4.27 y 4.28 para tráfico CS de voz y CS de datos respectivamente.

$$IuCS_{CS_VOZ}(Erl) = N^{\circ} usuarios * Trafico_{AMR} x user_BH(Erl) \quad (4.27)$$

$$IuCS_{CS_DATA}(Erl) = N^{\circ} usuarios * Trafico_{CS64} x user_BH(Erl) \quad (4.28)$$

Reemplazando los valores de la tabla N° 4.5 y 4.7 en las ecuaciones 4.27 y 4.28:

$$IuCS_{CS_VOZ}(Erl) = 224464 * 93\% * 10 \text{ mErl} \quad (4.29)$$

$$IuCS_{CS_VOZ}(Erl) = 2087,52 \text{ Erl} \quad (4.30)$$

$$IuCS_{CS64}(Erl) = 224464 * 3\% * 0,42 \text{ mErl} \quad (4.31)$$

$$IuCS_{CS64}(Erl) = 4,8 \text{ Erl} \quad (4.32)$$

Ahora debemos calcular el ancho de banda consumido por el tráfico de voz y videollamada, usualmente nosotros consideramos para tráfico de voz AMR 12.2Kbps y para videollamada 64Kbps, pero para el dimensionamiento de la capacidad de transmisión debemos considerar factores de utilización en las diversas capas de protocolo, según la tabla N° 4.15. Para calcular el throughput total de transmisión en Mbps aplicaremos las formulas 4.33 y 4.34.

$$IuCS_VOZ_{PAYLOAD}(Mbps) = \frac{\text{Trafico} IuCS_{VOZ} * 12.2}{1024} * \text{Factor x carga util} \quad (4.33)$$

$$IuCS_Data_{PAYLOAD}(Mbps) = \frac{\text{Trafico} IuCS_{DATA} * 64}{1024} * \text{Factor x carga util} \quad (4.34)$$

Tabla N° 4.15 Factor por carga útil – IuCS

Fuente: Documentacion Huawei

	Tipo de Servicio	
	CS Voz	CS Data
Bit Rate	12,2 Kbps	64 Kbps
Factor IUUP	88.57%	88.57%
Factor AAL2	88.57%	88.57%
factor ATM	88.57%	88.57%
Factor Capa 1	88.57%	88.57%
Factor de Extension	1.38	1.32

Reemplazando en las ecuaciones anteriores los valores de nuestro diseño:

$$IuCS_VOZ_{PAYLOAD}(Mbps) = \frac{2087,52 \text{ Erl} * 12.2}{1024} * 1.38 \quad (4.35)$$

$$IuCS_Voz_{PAYLOAD} (Mbps) = 34,32 \text{ Mbps} \quad (4.36)$$

$$IuCS_Data_{PAYLOAD} (Mbps) = \frac{4,8Erl * 64}{1024} * 1.32 \quad (4.37)$$

$$IuCS_Data_{PAYLOAD} (Mbps) = 0,40 \text{ Mbps} \quad (4.38)$$

Para calcular la velocidad de transmisión por señalización debemos considerar los aportes de plano de control y del plano de transporte del IuCS, el plano de control consiste principalmente de la aplicación RANAP, mientras que el plano de transporte consiste principalmente del protocolo adaptación de ATM AAL2. En nuestro caso para simplificar el cálculo utilizaremos un criterio bastante próximo para dimensionar la velocidad de transmisión por señalización como el 1% de la velocidad de transmisión del IuCS por voz y datos.

$$IuCS_{SEÑALIZACION} = 1\% * (IuCS_Voz_{PAYLOAD} + IuCS_Data_{PAYLOAD}) \quad (4.39)$$

Reemplazando los resultados 4.36 y 4.38 en la ecuación 4.39.

$$IuCS_{SEÑALIZACION} = 1\% * (43,32 + 0,40) \quad (4.40)$$

$$IuCS_{SEÑALIZACION} = 0,35 \text{ Mbps} \quad (4.41)$$

Finalmente para determinar la velocidad requerida en la interface IuCS, debemos realizar la suma de los tres componentes que aportan, tráfico de Voz, tráfico de Datos (videollamada) y señalización, afectada por un factor de redundancia según se indica en la Tabla N° 4.16.

Tabla N° 4.16 Ancho de banda total para IuCS (Mbps)

Elaboración propia

	Dimensionamiento IuCS (UL,DL)		
	Payload	Redundancia	Subtotal
BW IuCS x carga util del trafico voz (Mbps)	34.32		37.754
BW IuCS x carga util del trafico de datos (Mbps)	0.40	10%	0.435
BW IuCS x señalizacion (Mbps)	0.35		0.382
Total Velocidad de Transmision (Mbps)			38.57

c) Dimensionamiento de la Interface IuPS

IuPS es la interface entre el UTRAN y el Core Network PS (conmutación de paquetes), para el dimensionamiento de esta interface debemos considerar la velocidad de transmisión por el plano de usuario y el consumido por el plano de control, en ambos casos para uplink y downlink, como se ilustra en la figura 4.9.

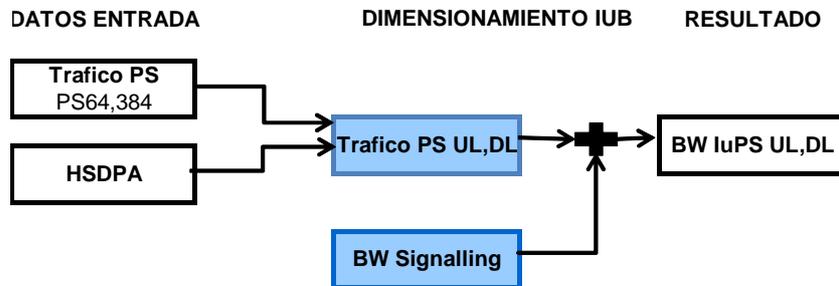


Figura 4.9 Proceso Dimensionamiento IuCS

Elaboración propia

En el diseño de nuestra red se ha considera utilizar una red IP para transmitir la IuPS, por tal motivo consideraremos la pila de protocolos graficados en la figura 4.10 de acuerdo al estándar ETSI TS125 410 V6.5

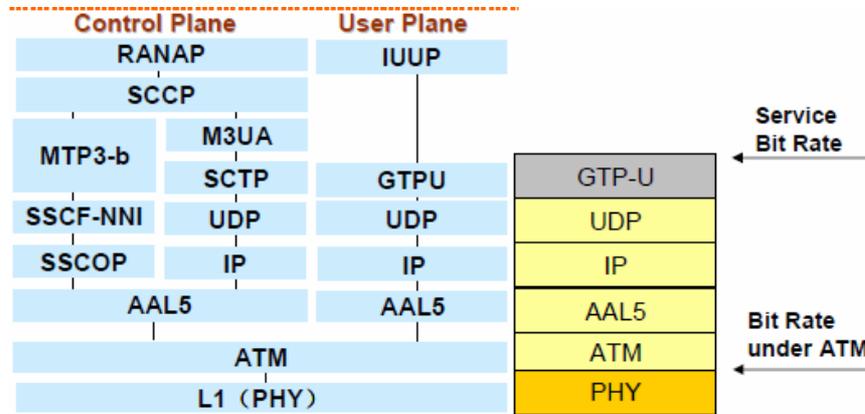


Figura 4.10 Pila de Protocolo Interface IuPS

Fuente: Documentacion Huawei

Tabla N° 4.17 Factor de carga útil -IuPS

Elaboración propia

	Payload (bytes)
AAL5	8
IPOA	8
IP	20
UDP	8
GTP-U	8
TOTAL	52

Para dimensionar la velocidad de transmisión requerida en la interface luPS, realizaremos dos cálculos, uno para el uplink y otro para el downlink. Dichos cálculos se basan en la suma de la velocidad de transmisión consumida por cada usuario en cada uno de los servicios de datos (según la distribución de usuario detallado en las tablas N° 4.7, 4.8, 4.9, 4.10), considerando el perfil de tráfico para cada servicio según se observa en la tabla N° 4.18. Finalmente la suma será afectada por el factor de carga útil (tabla N° 4.17). La ecuación 4.42 representa el cálculo descrito anteriormente tanto para el enlace de subida como para el downlink.

$$IuPS_{PAYLOAD_UL,DL} = N^{\circ} usuarios * RAB_{UL,DL} x user_BH * Factor\ x\ carga\ util \quad (4.42)$$

Tabla N° 4.18 Perfil de Tráfico de Paquetes PS

Elaboración propia

Modelo de Trafico PS				
Radio Bearers	Trafico (kbits)		Velocidad (kbps)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
PS384	9,019.5	102	2.51	0.03
HSPDA 200	0.00	2,100.51	0.00	0.58
HSPDA 700	0.00	3,938.46	0.00	1.09
HSPDA 1500	0.00	9,189.74	0.00	2.55

Finalmente para determinar el ancho de banda requerido en la interface luPS, debemos realizar la suma de las velocidades de transmisión calculados para el plano de usuario y plano de control (asumimos 10% del tráfico del plano de usuario), cuyo resultado es 42.97 Mbps, según se indica en la Tabla N° 4.19.

Tabla N° 4.19 Perfil de Tráfico de Paquetes PS

Elaboración propia

	IuPS DL			
	Payload	Redundancia	Factor	Subtotal
BW IuPS DL x carga util del Plano Usuario (Mbps)	23.14			28.852
BW IuPS DL x carga util del Plano Control (Mbps)	0.231	10%	1.133	0.289
Total Velocidad de Transmision DL (Mbps)				29.14

	IuPS UL			
	Payload	Redundancia	Factor	Subtotal
BW IuPS UL x carga util del Plano Usuario (Mbps)	10.98			13.693
BW IuPS UL x carga util del Plano Control (Mbps)	0.11	10%	1.133	0.137
Total Velocidad de transmision UL (Mbps)				13.83

d) Dimensionamiento del RNC

El dimensionamiento del Radio Network Controller (RNC) se realiza después de dimensionar las interfaces de radio, para conocer el ancho de banda que debe soportar el RNC. En general el dimensionamiento del RNC consiste en calcular la capacidad requerida para soportar los requerimientos de la red de acceso RAN.

La ubicación del RNC debe ser de tal forma que ahorre costos de transmisión, en nuestro estudio el site Yanahuara cumple con las características necesarias para concentrar los enlaces SDH hacia los demás Nodos B.

La configuración de HW de los RNC también dependerá:

- Tráfico total de conmutación de circuitos (Erlang).
- Tráfico total de conmutación de paquetes (Mbps).
- Tráfico total y carga de señalización.
- Número total de Nodos B
- Número total de sectores.
- Número Total de portadoras.
- Configuración de canales utilizados.
- Funcionalidades básicas de software requeridas a nivel de RNC.
- Tipo de interfaces de transmisión.
- Posibilidades de expansión.

Tabla N° 4.20 Dimensionamiento RNC

Elaboración propia

ITEM RNC		Capacidad Minima	Capacidad Recomendada (1+30%Cap. Min)
Caracterisiticas Basicas	Trafico Total Iub (Mbps)	209	299
	Trafico Iub DL (Mbps)	122	175
	Trafico Iub UL (Mbps)	87	125
	Trafico CS (Erlang)	2,694	3,849
	# Celda	45	65
	# Nodo B	15	22
Caracterisiticas Transmision	STM-1 (1+1) Iub	2	2
	E1's Iub	75	108
	STM-1 (1+1) IuCS	1	1
	Eth FE/GE (1+1) IuPS	1	1
	FE/GE (1+1) O&M	1	1

e) Dimensionamiento del MSC

La configuración de hardware del MSC depende mucho del proveedor del MSC, pero para nuestro estudio detallaremos las características generales que debemos considerar:

- Número de usuarios voz y videollamada.
- Tiempo promedio de llamada.
- Tráfico Total CS (Erlang)
- Numero de BHCA (intentos de llamada en hora cargada)
- Carga de señalización
- Características del SW.
- Tipo de interface de transmisión
- Numero de RNC a controlar
- Posibilidades de expansion

Tabla N° 4.21 Dimensionamiento MSC

Elaboración propia

ITEM MSC		Capacidad Minima	Capacidad Recomendada (1+30%Cap. Min)
Caracterisiticas Basicas	# Usuarios CS	224,464	291,804
	Trafico luCS (Erlang)	2,694	3,503
	BHCA	161,640	210,132
	Señalizacion (Mbps)	0.38	0.50
	# RNC	1	1
Caracterisiticas Transmision	STM-1 (1+1) luCS	2	2
	Eth FE/GE O&M + Sig	1	1

f) Dimensionamiento del SGSN

La configuración de hardware del SGSN dependerá principalmente del proveedor de equipo específico, pero dentro de las consideraciones generales tenemos:

- Número de usuarios con servicio de datos.
- Numero de contextos PDP.
- Tasa de activación del servicio
- Cantidad de tráfico en BH y overhead (bits/s o paquetes/s)
- Numero de enlaces requeridos
- Numero de RNC
- Posibilidades de expansion

Tabla N° 4.22 Dimensionamiento SGSN

Elaboración propia

ITEM SGSN		Capacidad Minima	Capacidad Recomendada (1+20%Cap. Min)
Características Básicas	# Usuarios PS	29,739	38,661
	# Contextos PDP	14,870	19,331
	Trafico luPS DL (Mbps)	35	45
	Trafico luPS UL (Mbps)	14	18
	# RNC	1	1
Características Transmision	Eth FE/GE luPS	1	1
	Eth FE/GE O&M + Sig	1	1

4.3 Topología de la red

En este apartado detallaremos las ubicaciones geográficas tentativas de las estaciones base basándonos en cobertura del área metropolitana de Arequipa, así mismo ubicaremos el site idóneo para ubicar la red central y finalmente describiremos las características de la red de transporte.

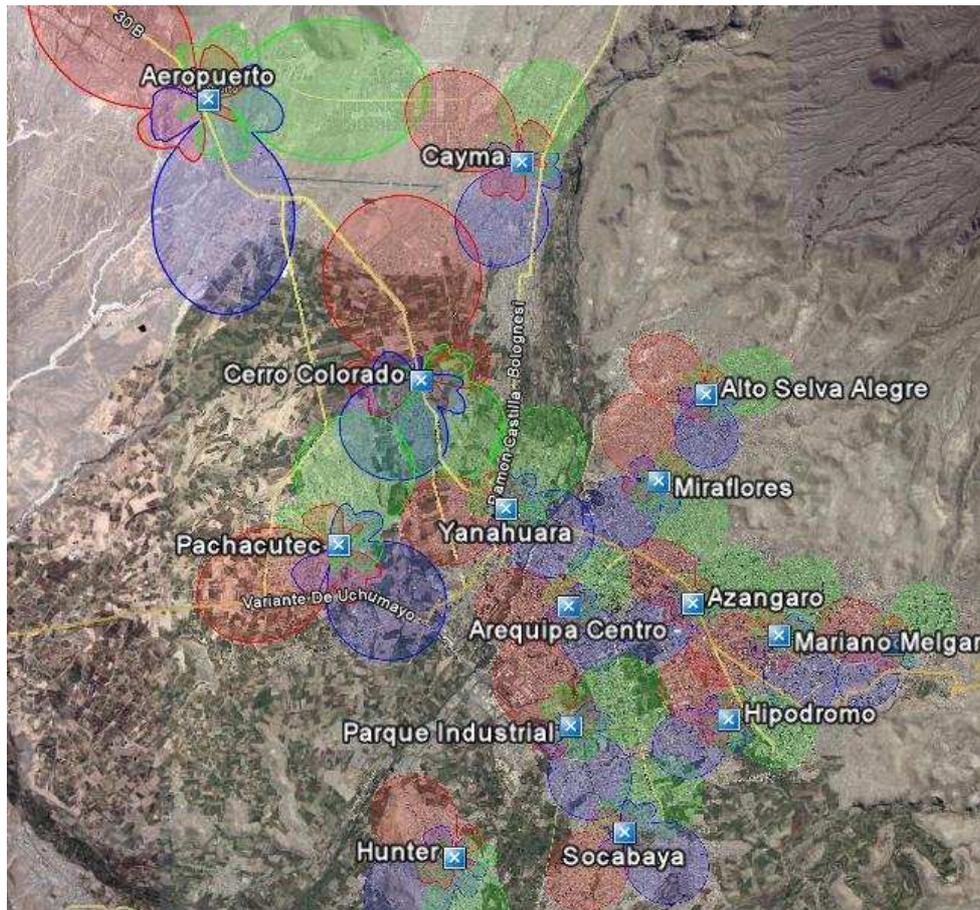


Figura 4.11 Cobertura red de acceso Arequipa

Fuente: Google Earth

4.3.1 Red de cobertura de acceso

Comenzaremos por el centro de la ciudad, donde se encuentra la mayoría de las áreas de interés, el criterio aplicado para determinar la distancia máxima de cobertura que alcanzará cada sector de una estación base será considerando la sensibilidad máxima de los equipos terminales para el downlink de 111.15 dBm y del Nodo B para el uplink, según se detallo en la tabla N° 4.3. Los patrones de radiación ilustrados en los mapas de cobertura han sido tomados de una antena modelo cuyo detalle explicaremos en el capítulo 4.4.

a) Cobertura Site Aeropuerto

A continuación, en la tabla N° 4.23 se muestran los parámetros obtenidos para el cálculo de la distancia máxima de la estación base denominada Aeropuerto ubicada en 16°19'38.32" longitud sur y 71°35'37.39" longitud o este, consta de 3 sectores cuyos azimuts son 88°, 175°, 312°, considerando que el origen del azimut 0° se origina en el norte geográfico.

Tabla N° 4.23 Análisis de cobertura – Site Aeropuerto

Elaboración propia

Nombre	Sector	Tipo	Altura (m)	Radio Cell (km)	Azimut h (°)	Latitud	Longitud
Aeropuerto	1	Suburbano	35	3.76	88	16°19'38.32"S	71°35'37.39"O
	2	Suburbano	35	3.76	175		
	3	Suburbano	35	3.76	312		

b) Cobertura Site Cayma

En la tabla N° 4.24 y figura 4.12 se observan los parámetro y patron de radiacion respectivamente para la cobertura del site Cayma.

Tabla N° 4.24 Análisis de cobertura – Site Cayma

Elaboración propia

Nombre	Sector	Tipo	Altura (m)	Radio Cell (km)	Azimut h (°)	Latitud	Longitud
Cayma	1	Urbano	35	1.60	20	16°20'13.61"S	71°32'35.73"O
	2	Urbano	35	1.60	200		
	3	Suburbano	35	3.76	258		

c) Cobertura Site Cerro Colorado

En la tabla N° 4.25 y figura 4.13 se observan los parámetro y patron de radiacion respectivamente para la cobertura del site Cerro Colorado.

Tabla N° 4.25 Análisis de cobertura – Site Cerro Colorado

Elaboración propia

Nombre	Sector	Tipo	Altura (m)	Radio Cell (km)	Azimuth h (°)	Latitud	Longitud
Cerro Colorado	1	Urbano	35	1.60	150	16°22'16.00"S	71°33'33.98"O
	2	Urbano	35	1.60	205		
	3	Suburbano	35	3.76	350		

d) Cobertura Site Pachacutec

En la tabla N° 4.26 y figura 4.14 se observan los parámetros y patrones de radiación respectivamente para la cobertura del site Pachacutec.

Tabla N° 4.26 Análisis de cobertura – Site Pachacutec

Elaboración propia

Nombre	Sector	Tipo	Altura (m)	Radio Cell (km)	Azimuth h (°)	Latitud	Longitud
Pachacutec	1	Suburbano	30	3.48	20	16°23'48.30"S	71°34'21.90"O
	2	Suburbano	30	3.48	135		
	3	Suburbano	30	3.48	245		

e) Cobertura Site Yanahuara

En la tabla N° 4.27 y figura 4.15 se observan los parámetros y patrones de radiación respectivamente para la cobertura del site Yanahuara.

Tabla N° 4.27 Análisis de cobertura – Site Yanahuara

Elaboración propia

Nombre	Sector	Tipo	Altura (m)	Radio Cell (km)	Azimuth h (°)	Latitud	Longitud
Yanahuara	1	Suburbano	30	3.48	0	16°23'28.00"S	71°32'44.99"O
	2	Urbano	30	1.49	120		
	3	Urbano	30	1.49	240		

f) Cobertura Site Alto Selva Alegre

En la tabla N° 4.28 y figura 4.16 se observan los parámetros y patrones de radiación respectivamente para la cobertura del site Selva Alegre.

Tabla N° 4.28 Análisis de cobertura – Site Alto Selva Alegre

Elaboración propia

Nombre	Sector	Tipo	Altura (m)	Radio Cell (km)	Azimuth h (°)	Latitud	Longitud
Alto Selva Alegre	1	Urbano	30	1.49	105	16°22'24.00"S	71°30'49.00"O
	2	Urbano Denso	30	1.08	180		
	3	Urbano	30	1.49	305		

g) Cobertura Site Miraflores

En la tabla N° 4.29 y figura 4.17 se observan los parámetro y patrón de radiación respectivamente para la cobertura del site Miraflores.

Tabla N° 4.29 Análisis de cobertura – Site Miraflores

Elaboración propia

Nombre	Sector	Tipo	Altura (m)	Radio Cell (km)	Azimut h (°)	Latitud	Longitud
Miraflores	1	Urbano Denso	30	1.08	155	16°23'12.40"S	71°31'16.40"O
	2	Urbano Denso	30	1.08	240		
	3	Urbano Denso	30	1.08	330		

h) Cobertura Site Arequipa Centro

En la tabla N° 4.30 y figura 4.18 se observan los parámetro y patrón de radiación respectivamente para la cobertura del site Arequipa Centro.

Tabla N° 4.30 Análisis de cobertura – Site Arequipa Centro

Elaboración propia

Nombre	Sector	Tipo	Altura (m)	Radio Cell (km)	Azimut h (°)	Latitud	Longitud
Arequipa Centro	1	Urbano Denso	30	1.08	35	16°24'22.61"S	71°32' 8.59"O
	2	Urbano Denso	30	1.08	130		
	3	Urbano Denso	30	1.08	290		

i) Cobertura Site Azangaro

En la tabla N° 4.31 y figura 4.19 se observan los parámetro y patrón de radiación respectivamente para la cobertura del site Azangaro.

Tabla N° 4.31 Análisis de cobertura – Site Azangaro

Elaboración propia

Nombre	Sector	Tipo	Altura (m)	Radio Cell (km)	Azimut h (°)	Latitud	Longitud
Azangaro	1	Urbano Denso	30	1.08	59	16°24'21.20"S	71°30'56.65"O
	2	Urbano Denso	30	1.08	235		
	3	Urbano Denso	30	1.08	316		

j) Cobertura Site Hipódromo

En la tabla N° 4.32 y figura 4.20 se observan los parámetro y patrón de radiación respectivamente para la cobertura del site Hipodromo.

Tabla N° 4.32 Análisis de cobertura – Site Hipódromo

Elaboración propia

Nombre	Sector	Tipo	Altura (m)	Radio Cell (km)	Azimuth h (°)	Latitud	Longitud
Hipodromo	1	Urbano	35	1.60	105	16°25'26.32"S	71°30'35.84"O
	2	Urbano	35	1.60	240		
	3	Urbano	35	1.60	316		

k) Cobertura Site Parque Industrial

En la tabla N° 4.33 y figura 4.21 se observan los parámetro y patrón de radiación respectivamente para la cobertura del site Parque Industrial.

Tabla N° 4.33 Análisis de cobertura – Site Parque Industrial

Elaboración propia

Nombre	Sector	Tipo	Altura (m)	Radio Cell (km)	Azimuth h (°)	Latitud	Longitud
Parque Industrial	1	Urbano	30	1.49	65	16°25'29.87"S	71°32'7.34"O
	2	Urbano	30	1.49	160		
	3	Urbano	30	1.49	323		

l) Cobertura Site Mariano Melgar

En la tabla N° 4.34 y figura 4.22 se observan los parámetro y patrón de radiación respectivamente para la cobertura del site Mariano Melgar.

Tabla N° 4.34 Análisis de cobertura – Site Mariano Melgar

Elaboración propia

Nombre	Sector	Tipo	Altura (m)	Radio Cell (km)	Azimuth h (°)	Latitud	Longitud
Mariano Melgar	1	Urbano Denso	30	1.08	30	16°24'39.05"S	71°30'6.69"O
	2	Urbano Denso	30	1.08	155		
	3	Urbano Denso	30	1.08	256		

m) Cobertura Site Paucarpata

En la tabla N° 4.35 y figura 4.23 se observan los parámetro y patrón de radiación respectivamente para la cobertura del site Paucarpata.

Tabla N° 4.35 Análisis de cobertura – Site Paucarpata

Elaboración propia

Nombre	Sector	Tipo	Altura (m)	Radio Cell (km)	Azimuth h (°)	Latitud	Longitud
Paucarpata	1	Urbano	30	1.49	409	16°24'43.95"S	71°29'0.46"O
	2	Urbano	30	1.49	220		
	3	Urbano Denso	30	1.08	290		

n) Cobertura Site Socabaya

En la tabla N° 4.36 y figura 4.24 se observan los parámetros y patrones de radiación respectivamente para la cobertura del site Socabaya.

Tabla N° 4.36 Análisis de cobertura – Site Socabaya
Elaboración propia

Nombre	Sector	Tipo	Altura (m)	Radio Cell (km)	Azimuth h (°)	Latitud	Longitud
Socabaya	1	Urbano	30	1.49	45	16°26'29.62"S	71°31'36.19"O
	2	Urbano	30	1.49	127		
	3	Urbano	30	1.49	223		

o) Cobertura Site Hunter

En la tabla N° 4.37 y figura 4.25 se observan los parámetros y patrones de radiación respectivamente para la cobertura del site Hunter.

Tabla N° 4.37 Análisis de cobertura – Site Hunter
Elaboración propia

Nombre	Sector	Tipo	Altura (m)	Radio Cell (km)	Azimuth h (°)	Latitud	Longitud
Hunter	1	Urbano	30	1.49	169	16°26'43.80"S	71°33'14.80"O
	2	Urbano	30	1.49	235		
	3	Urbano	30	1.49	316		

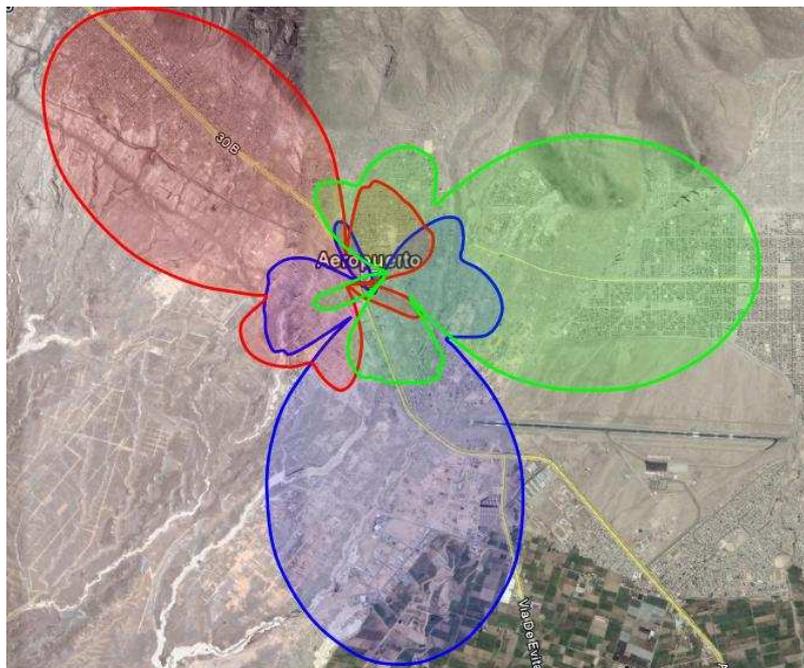


Figura 4.12 Cobertura Aeropuerto

Fuente: Google Earth

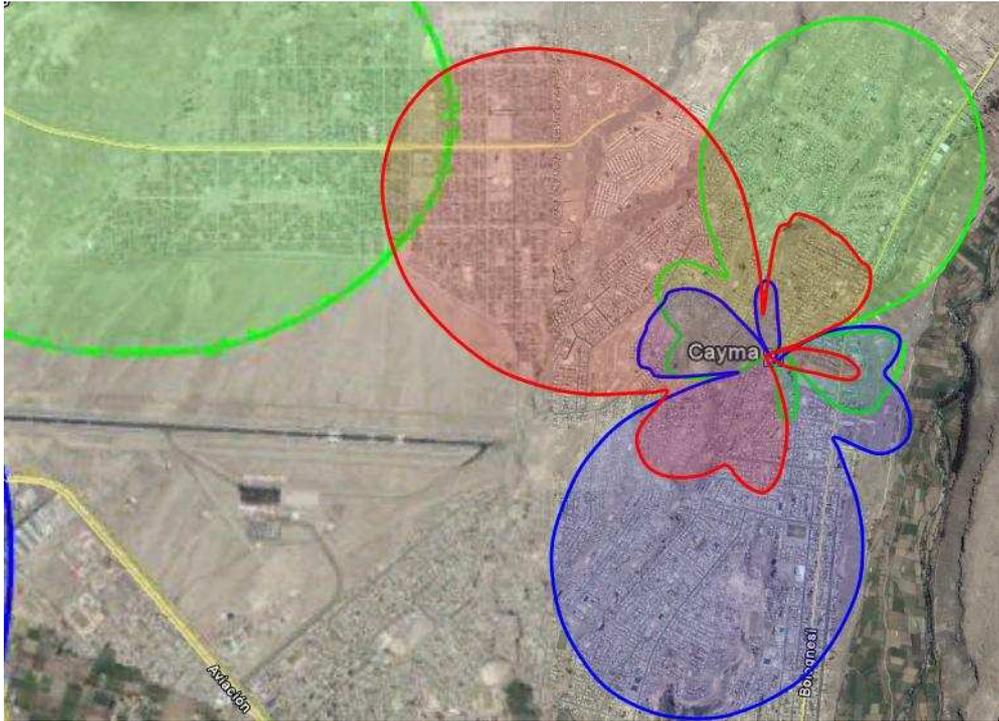


Figura 4.13 Cobertura Cayma

Fuente: Google Earth

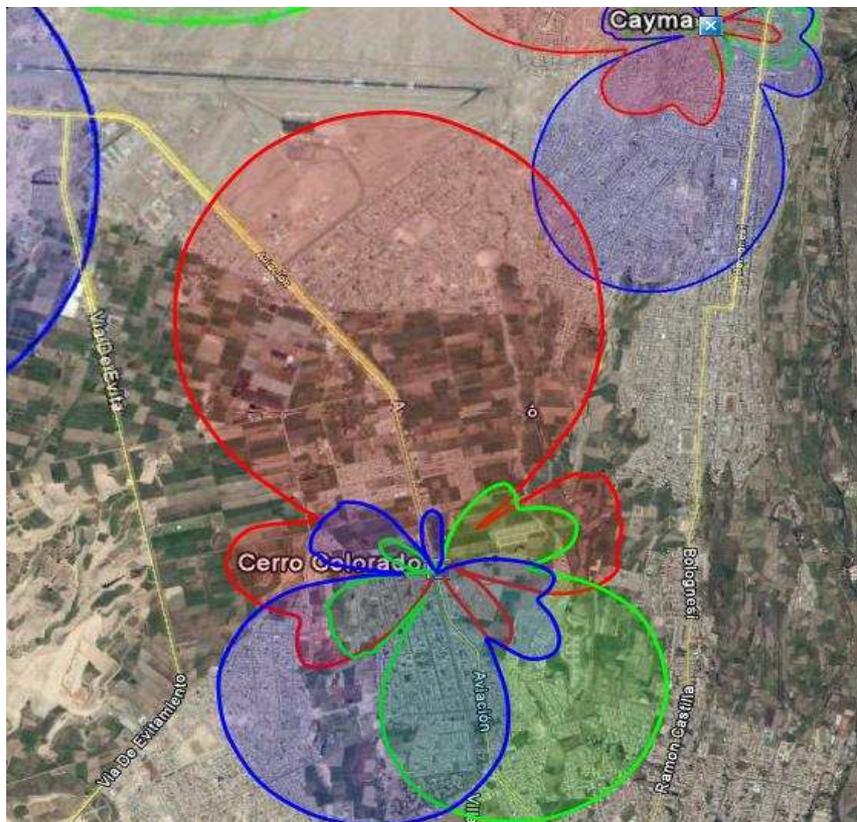


Figura 4.14 Cobertura Site Cerro Colorado

Fuente: Google Earth

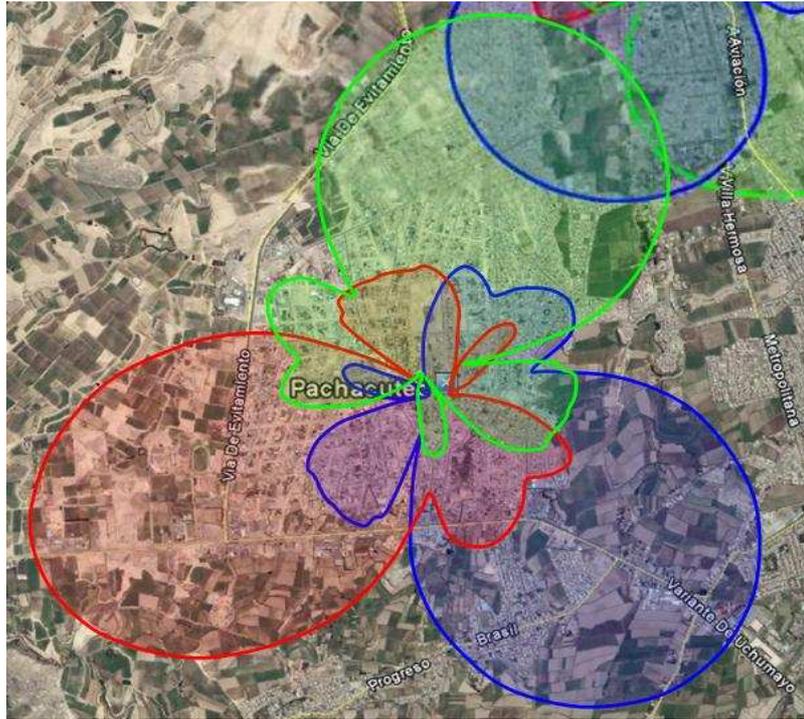


Figura 4.15 Cobertura Site Pachacutec

Fuente: Google Earth

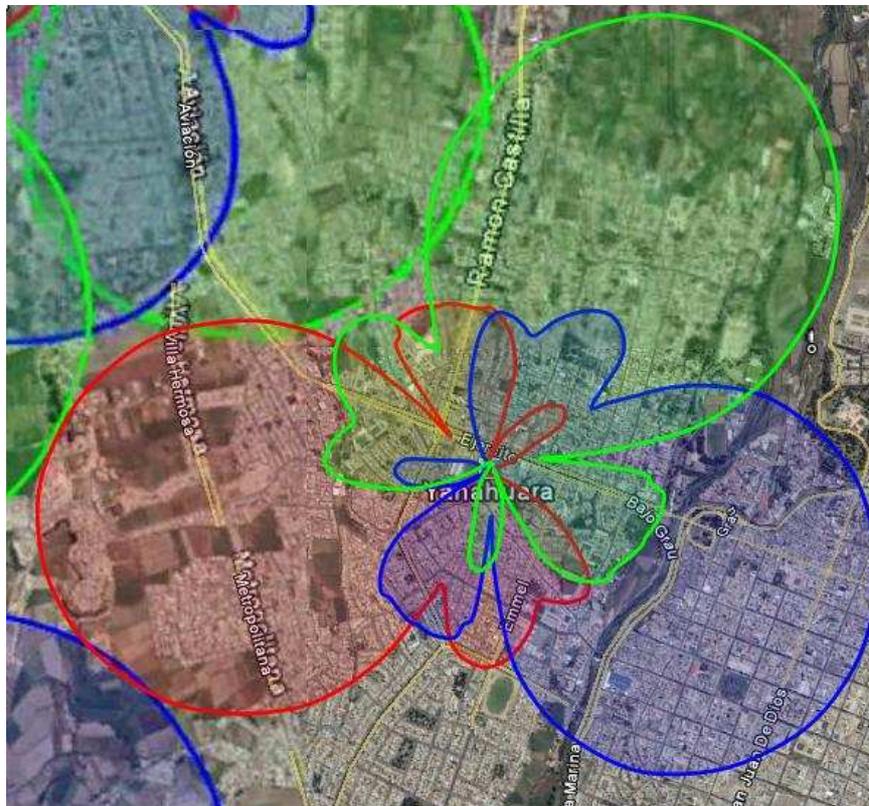


Figura 4.16 Cobertura Site Yanahuara

Fuente: Google Earth

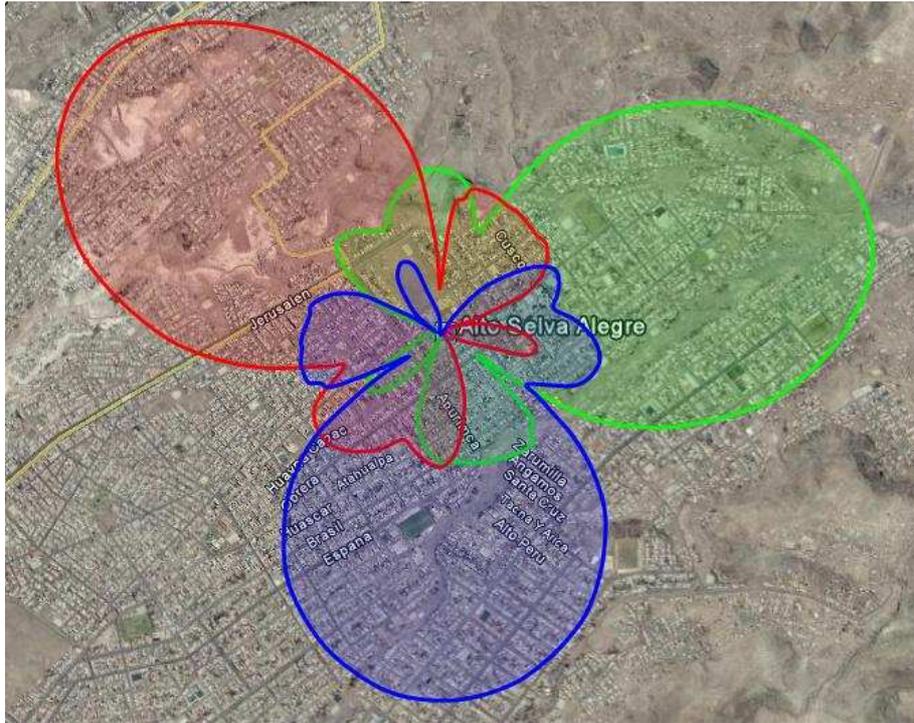


Figura 4.17 Cobertura Site Alto Selva Alegre
Fuente: Google Earth

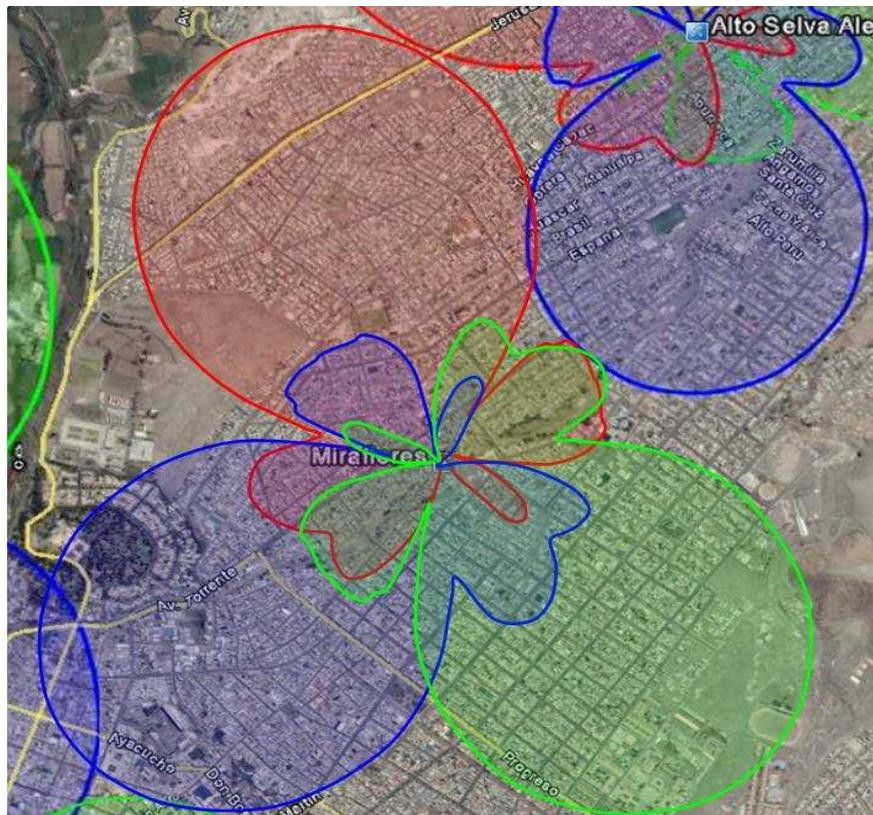


Figura 4.18 Cobertura Site Miraflores
Fuente: Google Earth

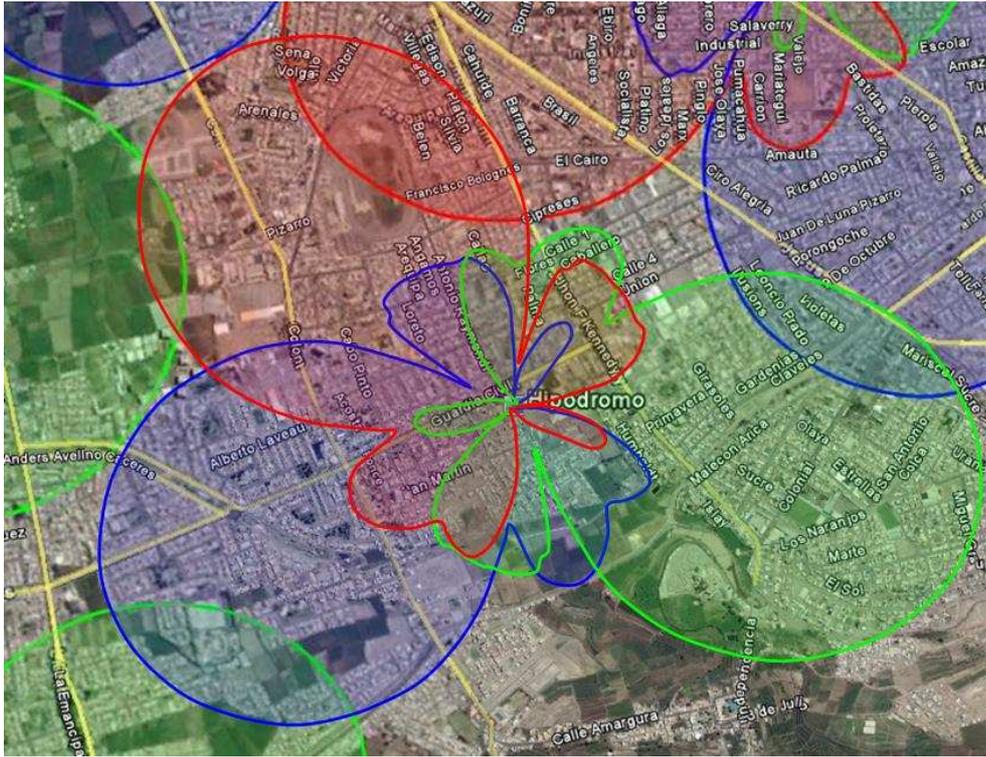


Figura 4.21 Cobertura Site Hipódromo

Fuente: Google Earth

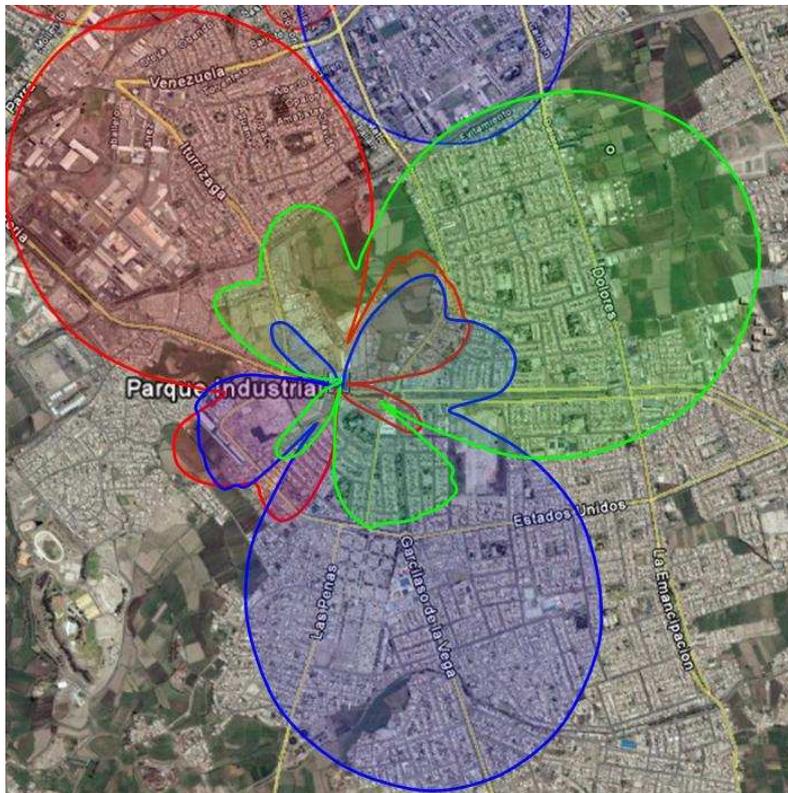


Figura 4.22 Cobertura Site Parque Industrial

Fuente: Google Earth

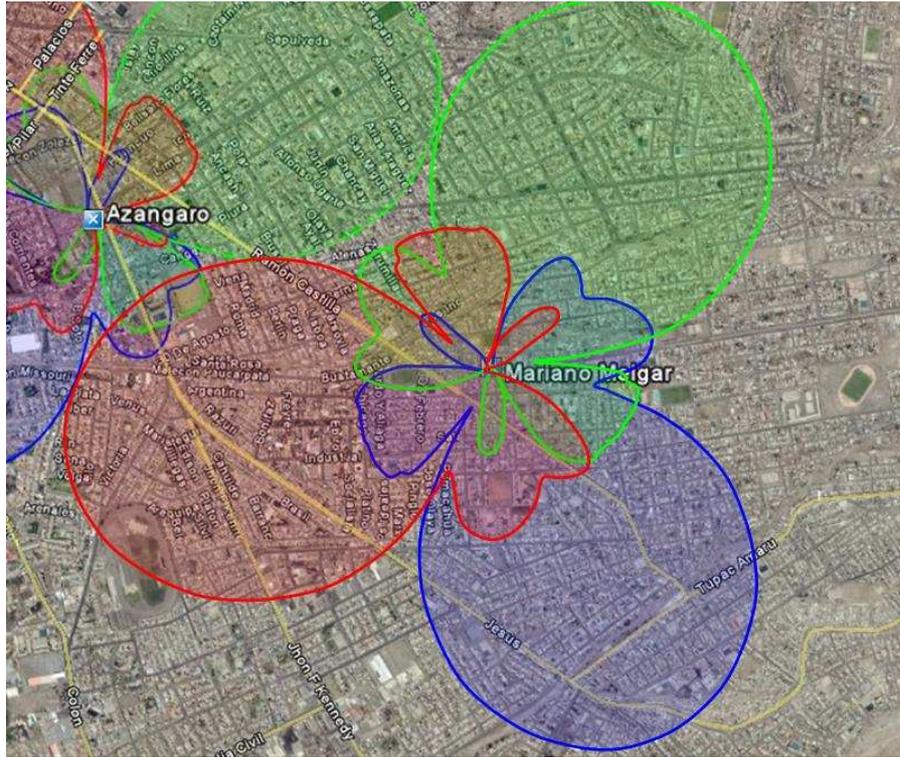


Figura 4.23 Cobertura Site Mariano Melgar

Fuente: Google Earth

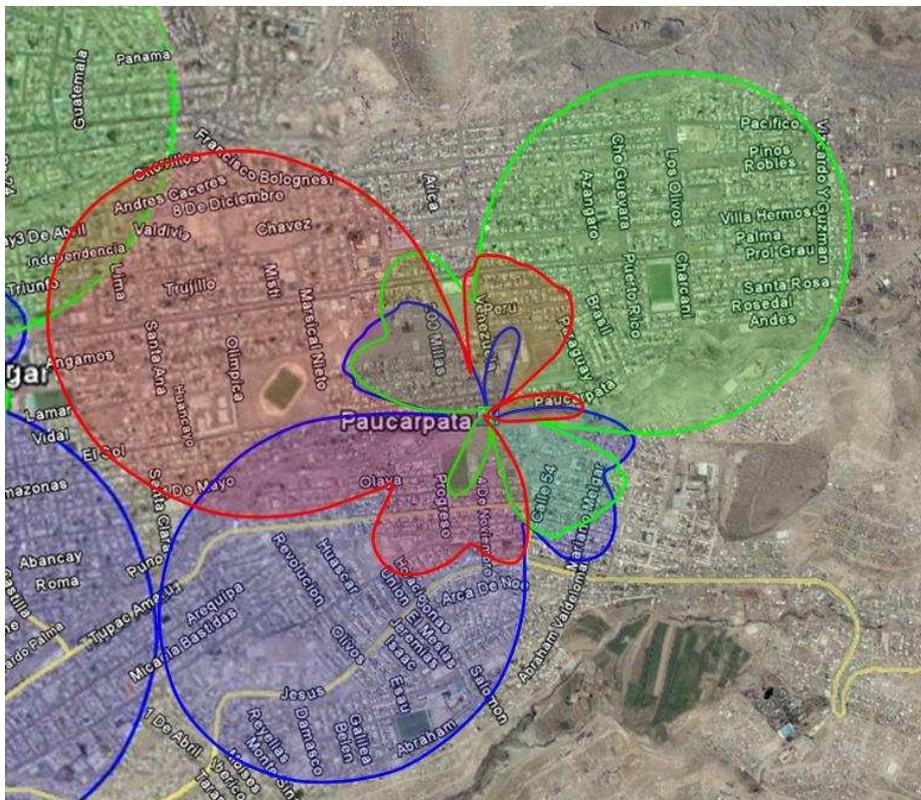


Figura 4.24 Cobertura Site Paucarpata

Fuente: Google Earth

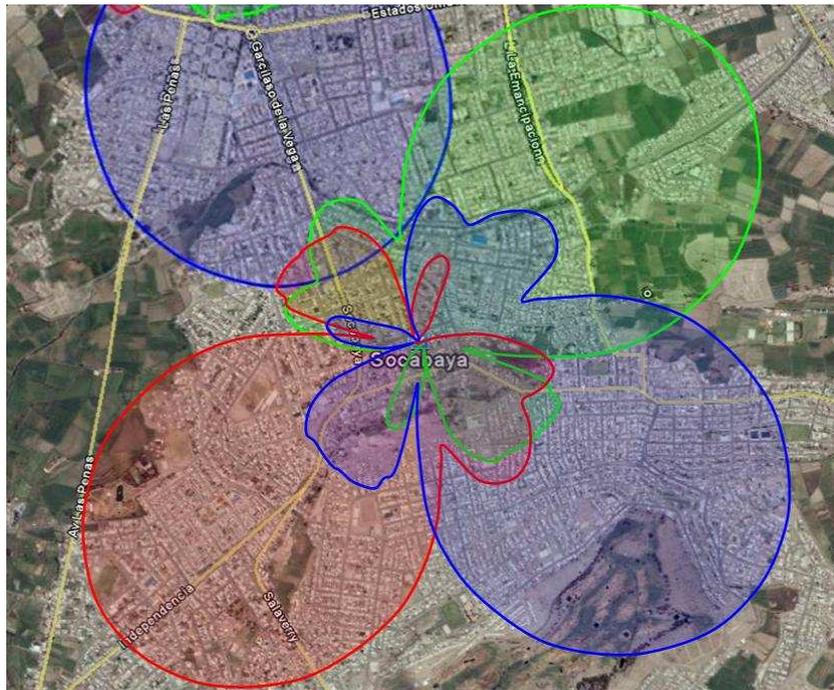


Figura 4.25 Cobertura Site Socabaya

Fuente: Google Earth

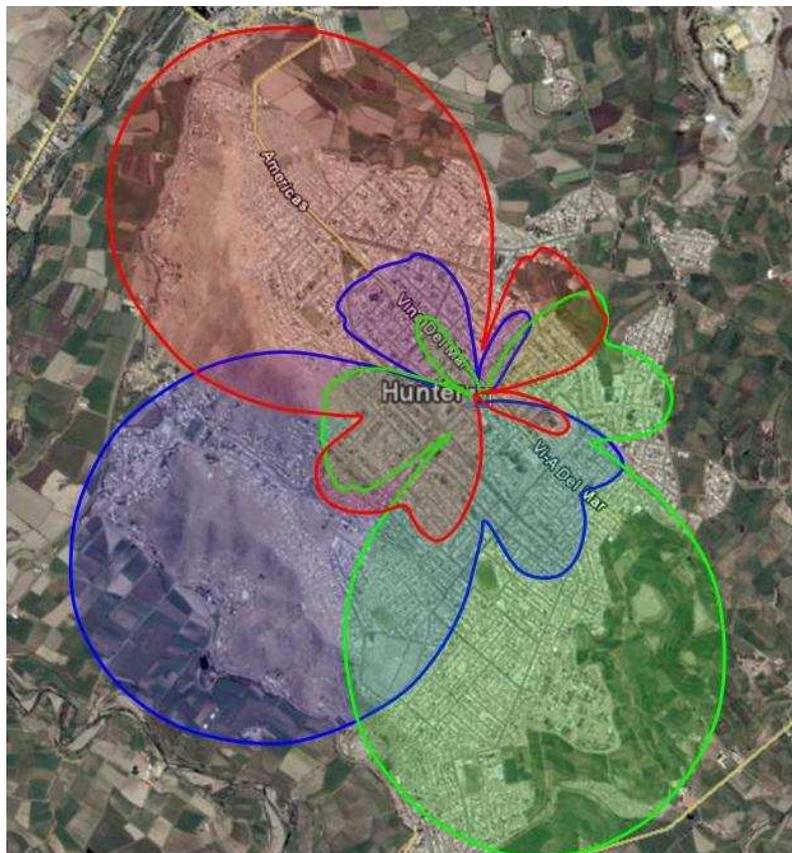


Figura 4.26 Cobertura Site Hunter

Fuente: Google Earth

4.3.2 Red de transporte

Después de haber definido la ubicación del centro de conmutación, tomaremos este punto como referencia para ubicar la estación base concentradora, la sede Yanahuara, en esta se instalarán los elementos de red del subsistema de conmutación como se detalló en capítulos anteriores. A la sede de Yanahuara se conectará las demás estaciones base utilizando enlaces microondas para lo cual es necesario el cálculo de atenuación en el espacio libre según lo indicado en la figura siguiente.

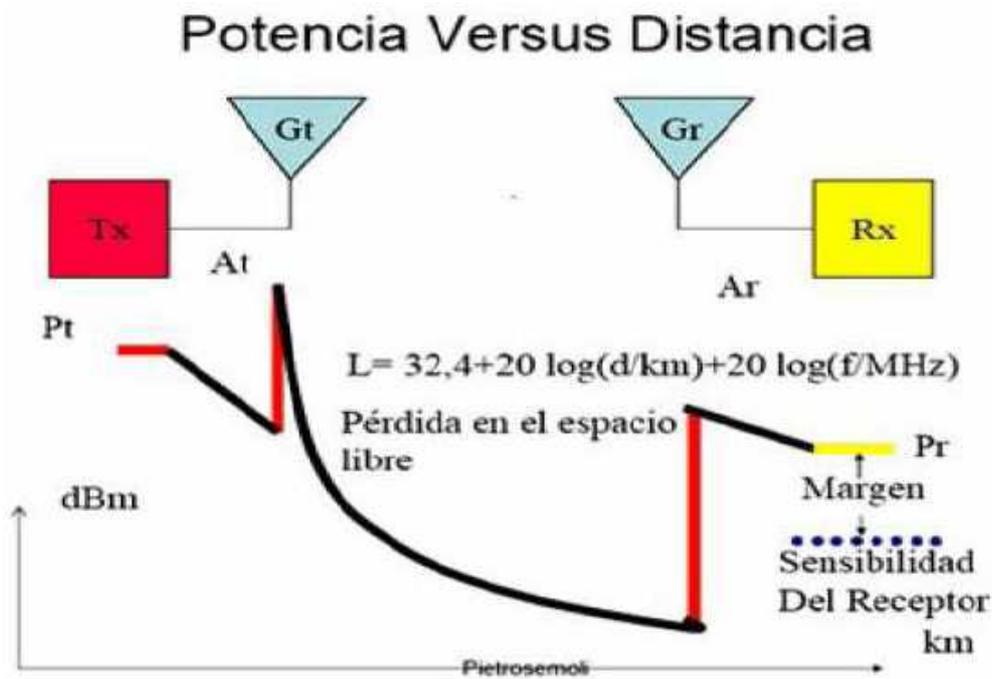


Figura 4.27 Cálculo de las pérdidas en espacio libre

Fuente: WILAC - Tecnologías Inalámbricas

Sabiendo la frecuencia de operación y la distancia entre el transmisor y el receptor se puede calcular la pérdida en espacio libre. Una vez realizado este cálculo procedemos a calcular la potencia de recepción aplicando la siguiente fórmula.

$$P_{RX} (dBm) = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{RF} - L \quad (4.43)$$

Se considera un enlace satisfactorio cuando la sensibilidad del receptor es menor a esta potencia calculada. Notar que las pérdidas por cables y conectores (L_{RF}) pueden llegar a ser considerables si es que la radio y la antena transmisora se encuentran muy separadas. Otra de las consideraciones a tener en cuenta para un enlace punto a punto son las zonas de Fresnel. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) propone

que un enlace punto a punto se puede realizar satisfactoriamente si se alcanza una visibilidad equivalente al 60% de la primera zona de Fresnel a un valor mínimo de $k = 2/3$.

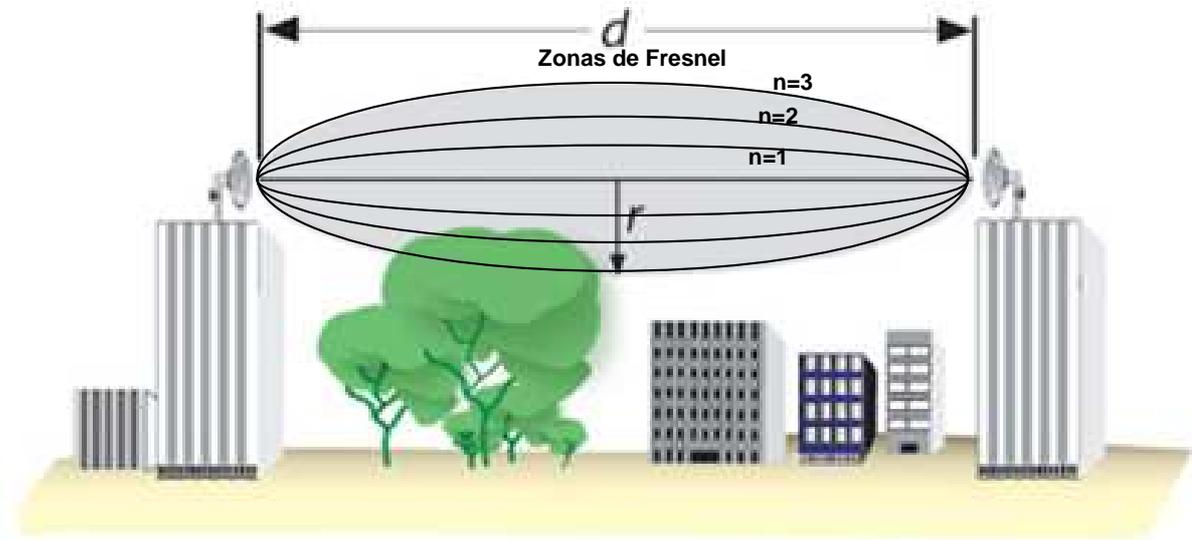


Figura 4.28 Zonas de Fresnel

Fuente: Axtel

Para determinar la factibilidad de los enlaces microondas en el presente proyecto se utilizó la herramienta gratuita Radio Mobile, la cual permite la planificación integral de una red, línea de vista, y cálculo de alcance basados en datos del terreno y ángulos de alineación de antena tanto en vertical como en horizontal. Radio Mobile usa datos de elevación provenientes de diversas fuentes en formato HGT, DTED, GLOBE, SRTM y los obtiene directamente de estos repositorios, para nuestro estudio utilizaremos la fuente NASA SRTM (Shuttle Radio Topology Mission) que cubre el planeta completo a una resolución de 90m, el programa "Radio Mobile" puede ser descargado de la página web www.cplus.org/rmw/english1.html.

Los datos que deberán ser introducidos en la herramienta son los siguientes

Potencia de transmisión

Ganancia de la antena transmisora.

Perdida en los cables y conectores.

Perdida en espacio libre

Ganancia de la antena receptora

Distancia entre el transmisor y el receptor

Frecuencia de operación.

La figura 4.29 muestra una vista panorámica de los enlaces punto a punto que se

emplearon en el presente proyecto, pudiéndose observar claramente la topología estrella donde el concentrador lo realiza el site Yanahuara.

Adicionalmente se observa que los sites Cerro Colorado, Arequipa Centro y Azangaro también actúan como concentradores de otros sites a su vez para finalmente enlazarse al site Yanahuara, esto con el objetivo de evitar interferencia entre enlaces.

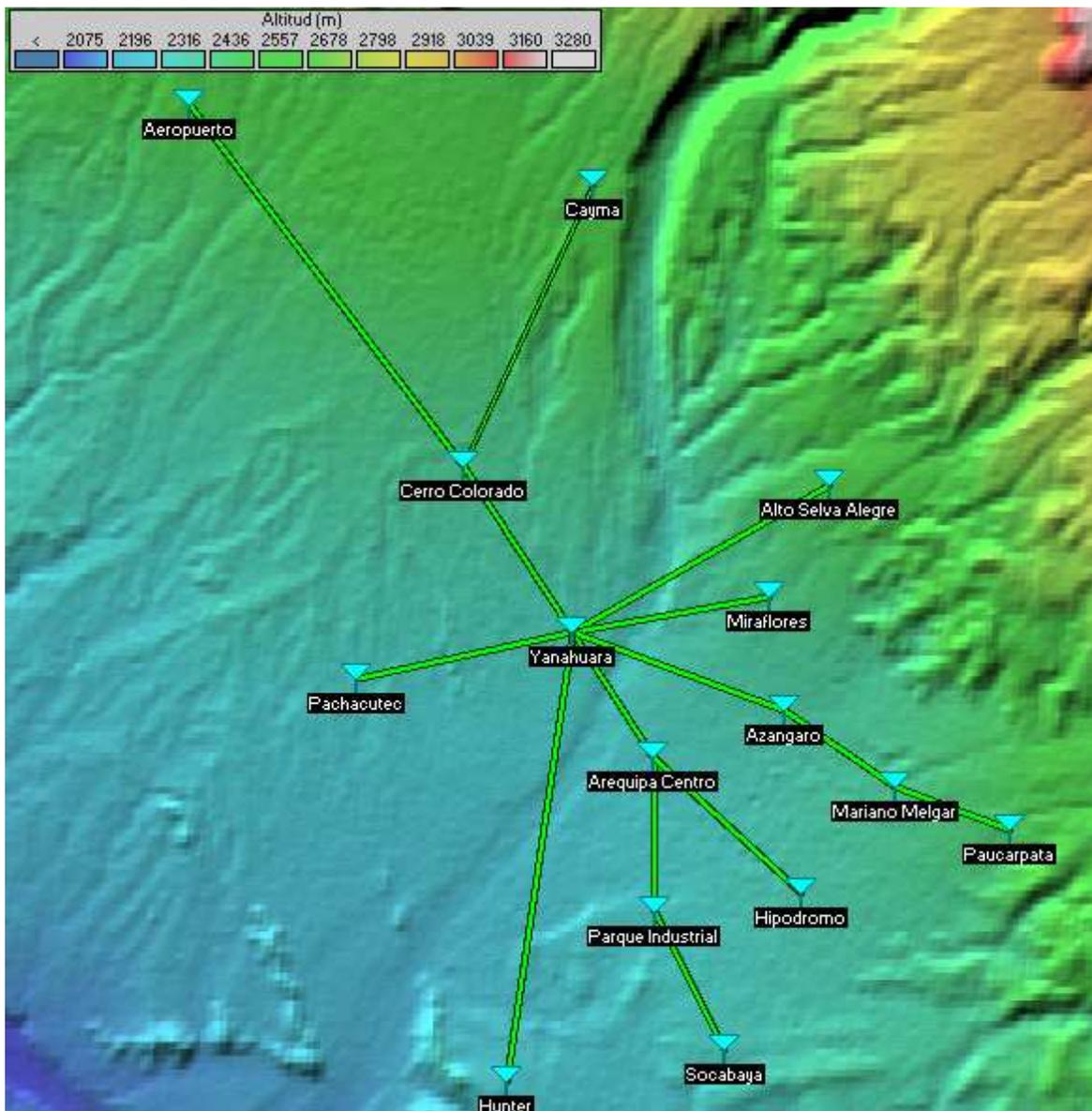


Figura 4.29 Vista Panorámica de la Red de Transporte

Fuente: Software Radio Mobile, Elaboración propia

A continuación se muestra uno de los enlaces de microondas más largos de la red de transporte entre la estación base Aeropuerto y Cerro Colorado, para el cálculo de la factibilidad del radio enlace se utilizó como frecuencia el rango comprendido entre

17725,5 – 18662,5 MHz, indicado en el PNAF para ser utilizadas en radioenlaces digitales para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones, según los análisis realizados con el Radio Mobile el enlace es satisfactoria y entrega los siguientes detalles descritos a continuación, la distancia entre Aeropuerto y Cerro Colorado es de 6.1 Km, azimut norte verdadero de 143.1°, azimut norte magnético de 145.9°, ángulo de elevación -1,32°, variación de elevación de 133,3 m, la perdida de propagación total es 144.7 dB.

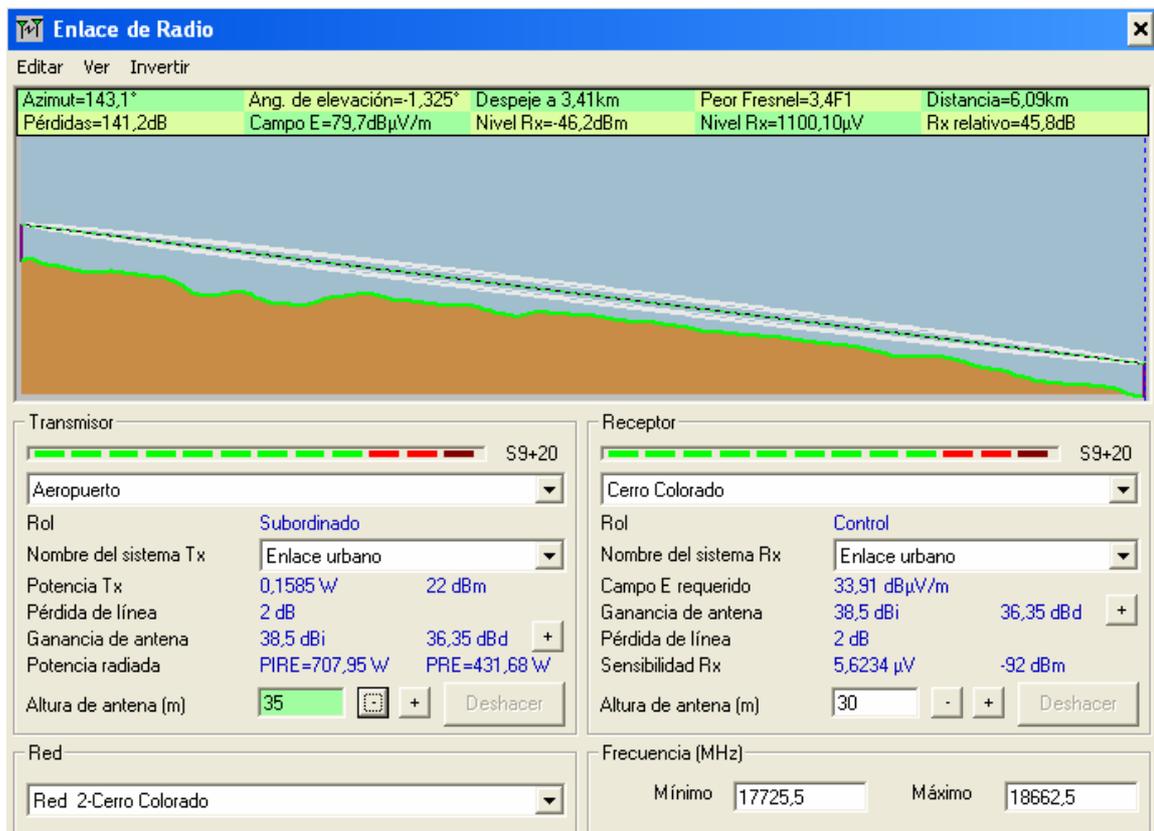


Figura 4.30 Enlace Site Aeropuerto – Site Cerro Colorado

Fuente: Enlace de radio con Radio Mobile

En la figura 4.31 se observa el estudio del enlace entre los sites Yanahuara y Hunter que presenta una distancia de 6.08 Km, perdida de propagación total de 136.8 dB y con el mas bajo nivel de recepción de 50.2 dB sobre la señal requerida. Radio Mobile grafica el enlace de radio en color verde como satisfactorio para los enlaces que alcanzan una visibilidad equivalente al 60% de la primera zona de Fresnel a un valor mínimo de $k = 2/3$. Finalmente en la figura 4.29 se obseva la simulacion con Radio Mobile de los enlaces de microondas para todas las etaciones base como satisfactorios, de esta forma el resto de enlaces son adecuados según la figura 4.29.

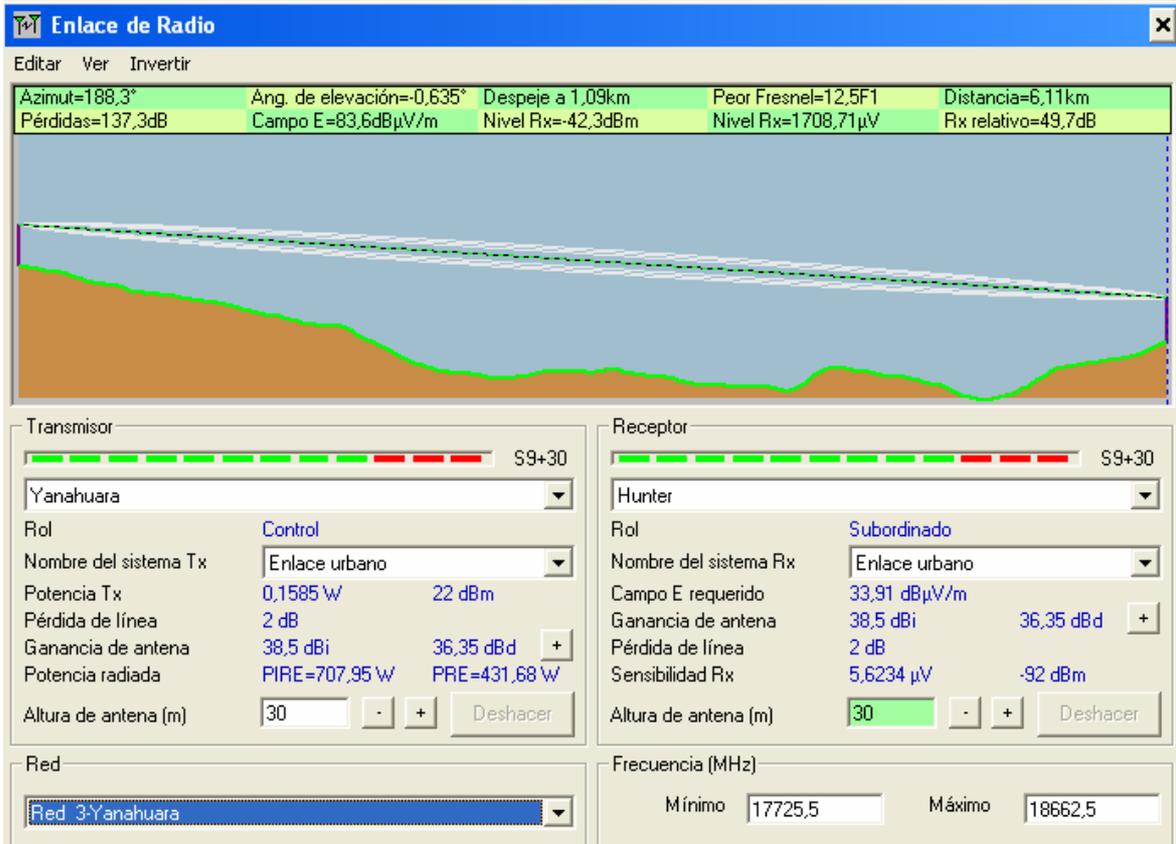


Figura 4.31 Enlace Site Yanahuara – Site Hunter

Fuente: Enlace de radio con Radio Mobile

4.4 Especificaciones técnicas del equipamiento

En la presente sección se expondrán las principales especificaciones técnicas de los elementos que intervienen en la red de acceso, subsistema de conmutación y red de transporte, en particular para este último se mostrarán las especificaciones técnicas de los enlaces de radio y de las antenas microondas.

4.4.1 Equipamiento para la red de acceso

La red de acceso consta principalmente de la estación base y el sistema de antenas de la estación base, en este apartado describiremos las principales características y especificaciones mínimas requeridas para implementar la red de acceso descrita en los capítulos anteriores.

La solución para el nodo B debe ser distribuida, es decir la unidad de procesamiento de banda base (BBU) debe estar separada de la unidad que procesa la señal RF (RRU), de esa forma minimizaremos las pérdidas por feeders al permitir instalar el RRU cerca a las antenas, adicionalmente ambas unidades deben estar conectadas por interfaces de alta capacidad como cables ópticos o eléctricos, la figura 4.32 muestra un esquema del nodo B distribuido.

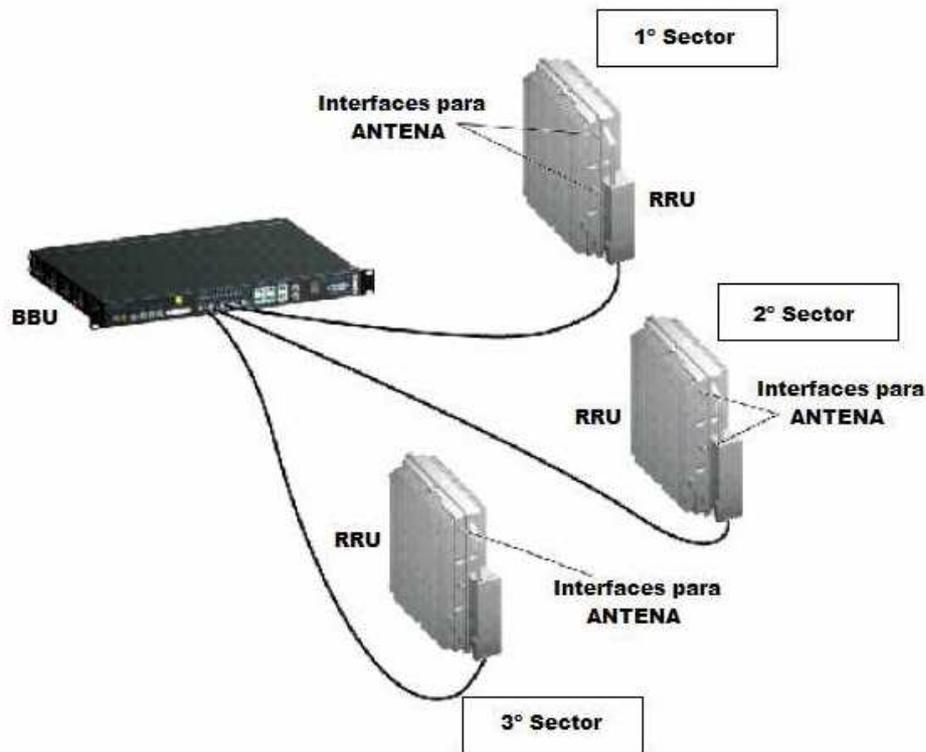


Figura 4.32 Nodo B distribuido

Fuente: Huawei Node B

La solución de Nodo B distribuido nos ayudara a ahorrar tiempo en instalación obras civiles y consumo de energía que posteriormente se verán reflejadas en un ahorro en OPEX y CAPEX.

El Nodo B (BBU + RRU) debe cumplir con las siguientes características:

- Soportar 192 CE en el uplink y 256 CE en el downlink.
- Mínima configuración de 3 RRU y 1 BBU para 1 carrier.
- Manejar potencias de 20W y 40W en la RRU.
- Diversos modos de transmisión en ATM (UNI, IMA).
- Soportar sincronización de referencia de la Interface Iub, GPS, reloj externo.
- Soporta modo de sincronización sin referencia al menos 30 días.
- Una sola celda debe soportar hasta 14.4 Mbps.
- Soportar hasta 15 códigos para HSDPA.
- Trabajar en un rango de temperatura entre -33° C a +50° C.
- Trabajar en voltaje AC entre 150V a 300V o voltaje DC entre -40V A -60V.
- Soportar servicios de voz AMR (12.2, 10.2, 7.95, 7.4, 6.7, 5.9, 5.15, 4.75 Kbps)
- Soportar servicios de datos transparente a 64, 56, 32, 28.8 Kbps)

- Soportar servicios de conmutación de paquetes a velocidades 16, 32, 64, 128, 144, 384 Kbps
- Soportar servicios combinados entre servicio de voz AMR, servicio de datos transparente y servicio de conmutación de paquetes.

La solución para el sistema de antena del nodo B debe presentar las siguientes características y especificaciones:

- Operar en la banda de frecuencia entre 870 a 960 MHz
- Ganancia mayor a 18 dBi.
- Downtilt eléctrico entre 0 a 10 °.
- Ancho de Haz Vertical mayor a 9 °.
- Ancho de Haz Horizontal mayor a 44 °.
- VSWR menor a 1.4
- Impedancia de 50 ohm.
- Relación Front to Back a 180° menor a 32 db.
- Peso menor a 25 kg.

En la figura siguiente se muestra un patrón de radiación horizontal que cumple con las condiciones mínimas de antena.

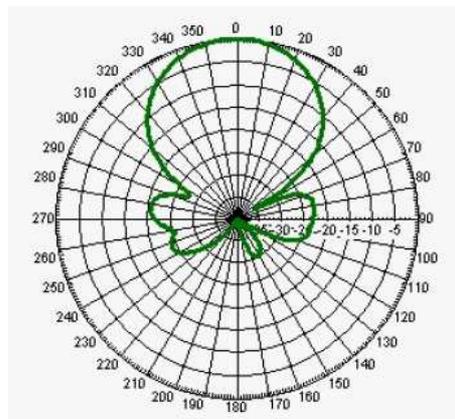


Figura 4.33 Patrón de Radiación Horizontal

Fuente: Andrew- Antena LBX 451 7DS

4.4.2 Equipamiento para el subsistema de conmutación

El equipamiento de la red de conmutación debe soportar las especificaciones ETSI TS 25. para soportar las diferentes interfaces IuB, IuCS e IuPS.

4.4.3 Equipamiento para la red de transporte

El principal elemento en la red de transporte son los enlaces de radio SDH, los cuales deben presentar las siguientes especificaciones:

- Soportar diferentes tipos de interfaces STM-1.

- Debe trabajar en la banda de 18 GHz
- Soportar capacidad de 155.52 Mbps
- Ganancia mayor a 85 dB.
- Soportar velocidad de transmisión de 55 MHz
- Diseñado de HW según especificación ETSI 300 430 Class 4E.
- Soportar plan de canalización según ITU-R 595-6.
- Configuración 1+1 (Hot Standby).
- Operar con voltaje DC -48 V.
- Potencia desde el IDU hacia ODU mayor 140W.
- Sensibilidad de Rx menor -92.5 dBm.
- MTBF mayor a 4700000.(verificar unidades)
- Garantizar BER menor 10-6.

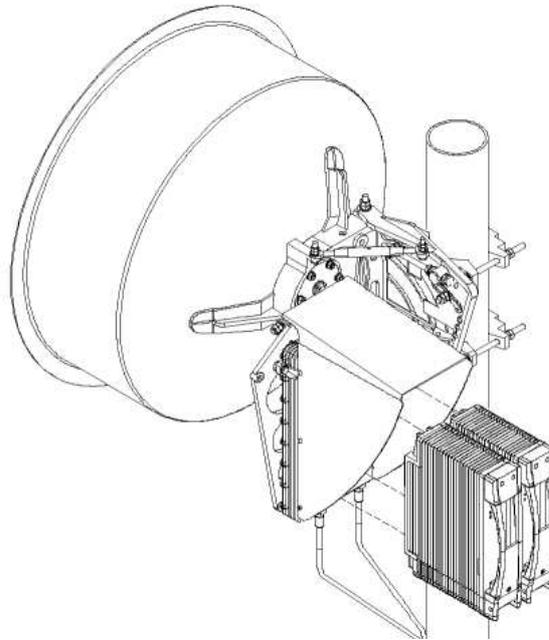


Figura 4.34 Radio Microonda 1+1

Fuente: Nokia Siemens Networks

4.5 Infraestructura del proyecto

En el presente apartado se desarrollaran brevemente el soporte de Red, los subsistemas de protección y energía que se tendrán en consideración para nuestra red de acceso.

4.5.1 Soporte de Red

Para el presente proyecto se emplearan dos tipos de torres: atirantadas y autosoportadas. Las torres arriostradas o atirantadas son ideales sobre edificaciones existentes, estas cuentan generalmente con tirantes a diferentes distancia, el peso que genera la torre sobre la estructura existente no es muy grande, por lo que no le adiciona

mucho peso a la edificación, sin embargo se deben colocar el apoyo de las torres y sus arriostres sobre columnas y elementos resistentes. Las torres autosoportadas se construyen sobre terrenos en áreas urbanas o cerros y deberán contar con una cimentación adecuada para poder resistir las fuerzas a la que están sometidas.

Otra opción es alquilar espacio en la torres de los operadores existentes, esta opciones en conocido como CO-SITE. Con esto se reducirá la inversión debido a los costos de adquisición e instalación, para nuestro caso de estudio se incluirán estos costos pues no se tiene la certeza de realizar esta opción.

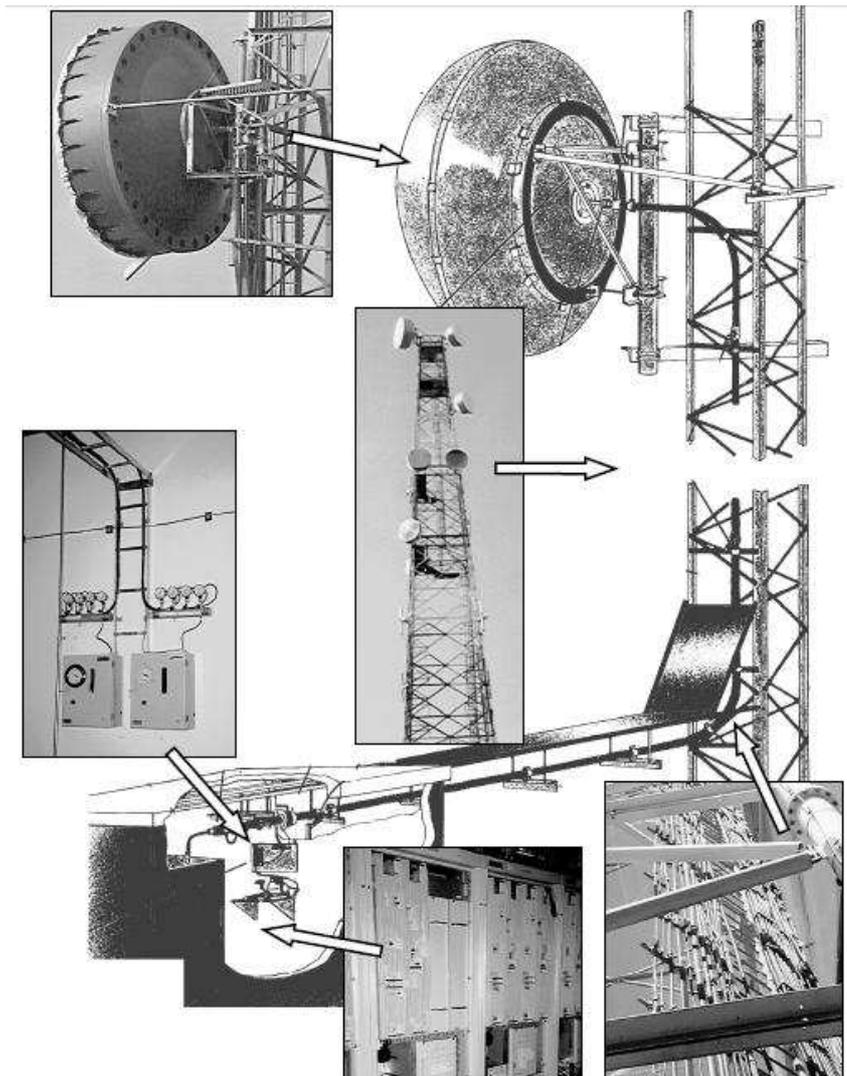


Figura 4.35 Componente de una torre

Fuente: Universidad Nacional de Rosario

4.5.1 Subsistema de protección

La instalación de puesta a tierra deberá ser realizada por un proveedor autorizado, el cual deberá verificar y garantizar el correcto funcionamiento del sistema de puesta tierra, el cual debe presentar las siguientes características o valores recomendados:

- Impedancia entre 5 y 10 ohms.
- Fleje de cobre (0.8 mm*7cm*40m)
- Bentonita natural (20kg)
- Sal industrial (50Kg)
- Soldadura exotérmica (65gr)



Figura 4.36 Instalación del sistema de puesta a tierra

Fuente: Orjeda Ingenieros

Adicionalmente se instalara un pararrayos Franklin tetrapuntual en lo más alto de la torre y se conectara al sistema de puesta a tierra junto con los demás equipos de telecomunicaciones, con lo cual se ofrecerá una protección frente a las posibles descargas eléctricas frecuentes en la zona.

4.5.2 Subsistema de energía

El rol principal de este subsistema es proveer de energía a distintos equipos de telecomunicaciones adaptándose a sus requerimientos. Adicionalmente, proveen de un resguardo de energía con la utilización de un banco de baterías con lo cual se brinda autonomía suficiente para que los equipos trabajen normalmente en caso de un inusual corte de la energía contratada. Las estaciones base están conformadas por una unidad en banda base y las unidades de radio remota. Estos equipos al igual que los radios utilizados para los enlaces microondas trabajan a -48 V DC. Gracias a los rectificadores es que podemos convertir 220 V AC (energía comercial) a - 48 V DC. La siguiente figura nos muestra el esquema básico de un rectificador con respaldo de energía.

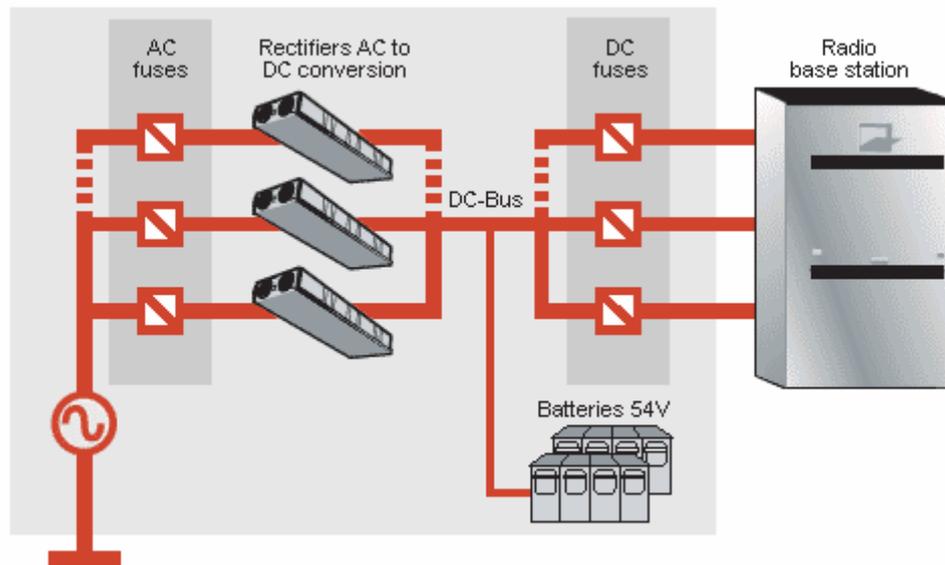


Figura 4.37 subsistema de energía Típico

Fuente: Rectificadores Eltek

Adicionalmente se instalarán interruptores termomagnéticos (Breakers) dependiendo del amperaje que requieran los equipos. Esto nos ayudará a proteger a nuestros valiosos equipos contra posibles sobrecargas y corto circuitos.

CAPITULO V

EVALUACION ECONOMICA

Después de haber presentado el diseño de la red, procederemos a describir los costos de inversión y operación involucrados en la red de acceso, red central y red de transporte. Y finalmente un breve estudio de la factibilidad del proyecto para determinar el tiempo de recuperación de la inversión total.

5.1 Costos de Inversión

Los costos de inversión son aquellos montos de dinero destinados a la adquisición de bienes capital, en nuestra caso en particular son los costos destinado a la adquisición de equipos, propiedades o construcciones industriales, estos costos también son llamados CAPEX (Capital Expenditures), dentro de los costos de inversión o capex consideraremos los equipos involucrados a la red de acceso, red central, red de transporte, adquisición de teléfonos celulares y un margen del 5% por fallas en las estimaciones, según se observa en la tabla N° 5.1.

Tabla N° 5.1 Costos de Inversión Red UMTS

Concepto	Total año US \$	2do año US \$	3er año US \$
Costo Inversion Red Acceso	1,399,500	186,600	93,300
Costo Inversion Red Central	3,051,595	51,700	51,700
Costo Inversion Red Transporte	477,500	67,000	33,502
Costo de Invesrison Terminales	5,934,155	3,560,493	2,373,662
Margen error CAPEX	5% 246,430	15,265	8,925
CAPEX TOTAL	11,109,180	3,881,058	2,561,089

Fuente: Proveedores de equipos, Elaboración propia

5.1.1 Red de acceso

La red de acceso, como se ha descrito en los capítulos anteriores, consta principalmente de las estaciones base y el sistema de antena de la estación base, adicionalmente dentro de los costos de inversión para la instalación de una estación base se encuentran los rectificadores a 48v DC y las obras civiles involucradas.

Tabla N° 5.2 Costos de Inversión Red de acceso

Concepto	Cantidad	Costo Unitario US \$	Total año US \$	2do año US \$	3er año US \$
Costo Nodob HW	15	42,000	630,000	84,000	42,000
SW por 192Ce UL / 256 Ce DL	15	15,000	225,000	30,000	15,000
Costo Antena	45	5,000	225,000	30,000	15,000
Rectificador para estacion base	15	3,500	52,500	7,000	3,500
Diseño, planificacion y construccion	750	200	150,000	20,000	10,000
Instalacion, Comisionamiento e instal.	15	2,800	42,000	5,600	2,800
Permisos Municipales	15	5,000	75,000	10,000	5,000
CAPEX RED DE ACCESO			1,399,500	186,600	93,300

Fuente: Proveedores de equipos, Elaboración propia

5.1.2 Red Central

Centro de los costos de inversión referidos a la red central se encuentran, la adquisición de los RNC, MSC y SGSN, así como los rectificadores y obras civiles para la sala de equipos.

Tabla N° 5.3 Costos de Inversión Red Central

Concepto	Cantidad	Costo Unitario US \$	Total año US \$	2do año US \$	3er año US \$
Costo RNC hardware	1	350,000	350,000	0	0
Costo RNC software (Mbps en lub)	300	1,000	300,000	50,000	50,000
Costo MSC hardware	1	1,000,000	1,000,000	0	0
Costo SW x BHCA	210,132	2	420,264	1,000	1,000
Costo SGSN hardware	1	800,000	800,000	0	0
Costo SGSN software (# PDP context)	19,331	1	19,331	700	700
Rectificador para CN	3	4,000	12,000	0	0
Diseño, planificacion y construc.	300	200	60,000	0	0
Compra de terreno	300	300	90,000	0	0
CAPEX RED CENTRAL			3,051,595	51,700	51,700

Fuente: Proveedores de equipos, Elaboración propia

5.1.3 Red de transporte

Tabla N° 5.4 Costos de Inversión Red de acceso

Concepto	Cantidad	Costo Unitario US \$	Total año US \$	2do año US \$	3er año US \$
Radio enlaces (ODU, IDU, Antena MW)	14	25,000	350,000	50,000	25,000
Construccion de Torres	15	7,000	105,000	14,000	7,001
Pararrayos	15	700	10,500	1,400	701
Sistema de tierra	15	800	12,000	1,600	800
CAPEX RED DE TRANSPORTE			477,500	67,000	33,502

Fuente: Proveedores de equipos, Elaboración propia

La implementación de la red de transporte consta principalmente de los radio enlaces y adicionalmente las construcción de torres y pararrayos, así como el sistema de puesta a tierra, que también será utilizado por las estaciones base, pero que considerado como gasto único en esta sección.

5.2 Costos de operación

Los costos de operación son aquellos gastos relacionados al mantenimiento o mejora de los beneficios físicos de una empresa, tales como equipamiento o propiedades, los gastos de operación a menudo son abreviados como OPEX.

Dentro de los costos de operación u OPEX, se han incluido: costos de explotación, costos de mantenimiento de equipos, costos de difusión y marketing

Tabla N° 5.5 Costos de operación red UMTS

Concepto	Ref.	Costo Anual año US \$	Total 2do año S/.	Total 3er año S/.
Costo de Explotacion		2,808,680	2,974,252	3,107,274
Operaciones de la Red	10%	2,805,180	2,970,285	3,103,074
Canon radioelectrico	3500	3,500	3,967	4,200
Costo de Matenimiento de equipos		723,626	546,540	457,997
Mantenimiento preventivo Red Acceso	5%	69,975	79,305	83,970
Mantenimiento preventivo Red Central	5%	152,580	152,580	152,580
Manteniemierno preventivo Red Transpor	5%	23,875	27,225	28,900
Manteniemierno terminales	8%	474,732	284,839	189,893
Mantenimiento Correctivo	1%	2,464	2,591	2,654
Costos de Difusion y gastos generales		8,469,540	8,972,056	9,374,021
Gastos de Ventas y Marketing	20%	5,610,360	5,940,570	6,206,147
Alquiler de local para NodoB	15	54,000	61,200	64,800
Gastos Generales y administrativos	10%	2,805,180	2,970,285	3,103,074
Externalidades (Costos Incrementales)				
Margen error OPEX	5%	600,092	624,642	646,965
Cargas tributarias e IGV	20%	5,610,360	5,940,570	6,206,147
OPEX TOTAL		86,317,742	90,956,614	94,793,170

Fuente: Proveedores de equipos, Elaboración propia

Los costos de explotación incluyen los relacionados a la operación de red, como el 10% del ingreso bruto y canon radioeléctrico eléctrico, por asignación de una banda de frecuencia por enlaces SDH.

Los costos de mantenimiento de equipos involucran las revisiones preventivas para los equipos de las red de acceso, red central y de transporte, usualmente en los primeros

años estos gastos están dentro de la garantía del equipo pero se considerara un 5% de la inversión por adquisición del equipo, en el caso del mantenimiento de terminales se han considerado un porcentaje mayor del 8%.

Dentro de los costos de difusión y marketing se han incluido los costos de soporte técnico al usuario como un 20% del ingreso bruto anual, también se han considerado gastos fijos por alquiler del local para las estaciones base y finalmente gastos generales y administrativos. En todo proyecto se debe considerar gastos imprevistos para este rubro se ha considerar el 5% del costo de la inversión y 20% por cargas tributarias e IGV.

5.3 Flujo de caja del proyecto

La propuesta técnica expuesta en los capítulos anteriores, requiere de una evaluación económica en función de gastos e ingresos. Los gastos están relacionados con la inversión inicial, costo de explotación, costos de mantenimiento, gastos de marketing, gastos administrativos, alquileres y cargas tributarias. Los ingresos serán en función las rentas por tráfico en conmutación de circuitos y paquetes. Los indicadores de inversión presentados son el valor actual neto (VAN) y la tasa de interés de retorno (TIR), cuya definición y forma de cálculo son detalladas en el Anexo N° C.

Según la tabla N° 5.6 en los primeros dos años existe perdida, es recién en el tercer año donde se comienza a recuperar la inversión.

Tabla N° 5.6 Flujo de caja

FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO				
	año 0	1er. año	2do. año	3er. año
INGRESOS	0.00	28,051,799	29,702,852	31,030,737
Trafico CS		23,046,437	23,783,836	24,544,953
Trafico PS		5,005,362	5,919,016	6,485,784
EGRESOS	11,109,180	22,093,356	24,650,635	22,960,278
INVERSIÓN INICIAL (CAPEX)	11,109,180	3,881,058	2,561,089	
COSTO POR EXPLOTACIÓN		2,808,680	2,974,252	3,107,274
COSTO DE MANTENIMIENTO		723,626	546,540	457,997
GASTOS DE MARKETING		5,610,360	8,972,056	9,374,021
G&A GAST.GRALES.ADMINISTR.		2,805,180	2,970,285	3,103,074
ALQUILERES		54,000	61,200	64,800
CARGAS TRIBUTARIAS		5,610,360	5,940,570	6,206,147
COSTOS INCREMENTALES		600,092	624,642	646,965
SALDO DEL PERIODO	-11,109,179.75	5,958,443	5,052,217	8,070,459
ACUMULADO	-11,109,179.75	-5,150,737	-98,520	7,971,940
TASA DE DESCUENTO	12%		VAN	TIR
			3,556,115	31%

Elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El dimensionamiento de las redes de telecomunicaciones puede ser realizado mediante distintos criterios. De ellos se puede considerar el criterio de cobertura en los inicios de la red debido a que el de capacidad no es tan crítico por la baja penetración de usuarios que se tiene en los primeros años de operación. Las empresas de telecomunicaciones, al igual que el resto de empresas, trabajan bajo el criterio de demanda; es decir, conforme aumente el número de usuarios la empresa aumentará el número de recursos.
2. Es importante tener en cuenta para el dimensionamiento que para un Nodo B la distancia de cobertura en el uplink es menor que del downlink. Este factor es determinante para el cálculo del número de estaciones base por cobertura.
3. En el dimensionamiento de la capacidad de las interfaces es necesario conocer los protocolos que intervendrán en todas las capas, de tal manera que será posible identificar los recursos requeridos por cabeceras.
4. La geografía del área a cubrir y la densidad de edificaciones pueden ocasionar el aumento del número de celdas de diversos tipos (macro, micro y pico), de acuerdo a la propagación que la señal presente en cada sector.
5. Se recomienda incluir como parte del diseño de una red UMTS la planeación de códigos de scrambling. Sin embargo, este proceso no es crucial debido a que generalmente lo realiza la herramienta de simulación.
6. La interferencia debido al número de usuarios simultáneos en la celda es un factor de suma importancia que debe considerarse en el proceso de optimización y puesta en marcha de la red ya que puede requerir un aumento de celdas de uno o dos sectores.
7. Arequipa Metropolitano es un buen escenario para el despliegue de una red inalámbrica de de altas velocidades, empleando la tecnología UMTS – HSDPA, pues es la relación celda versus usuarios presenta un valor altamente positivo. Adicionalmente, podemos afirmar que el costo del despliegue de las tecnologías inalámbricas es evidentemente menor al despliegue de las redes fijas.
8. Para tomar una decisión de inversión debe utilizarse más de un método de selección de inversión, entre los más utilizados por las grandes empresas estas el VAN y TIR, los cuales han sido determinados en el capítulo 5.

9. La evaluación económica realizada en el capítulo anterior arroja interesantes resultados en un escenario como el de Arequipa Metropolitano. Con un valor actual neto mayor a cero y una tasa interna de retorno de 31%, podemos afirmar que nuestro proyecto es rentable. Sin embargo, el número de usuarios que se propone en este estudio de factibilidad no serán alcanzados sin una buena campaña publicitaria. Por tal motivo, se considera un costo razonable para efectos de ventas y marketing.
10. Se requiere una buena oferta de terminales para captar usuarios. El hecho que varios fabricantes desarrollen equipos HSDPA reduce los costos. Sin embargo, en general las operadoras deben considerar el subsidiar los equipos terminales como una estrategia de mercado para captar clientes, por lo menos hasta que los costos se reduzcan lo suficiente para generar ingresos por la venta de equipos.
11. Las simulaciones de los enlaces de radio, han sido realizadas con el software Radio Mobile, el cual es recomendado solo para fines educativos. Para fines profesionales y comerciales se recomienda utilizar software especializado como Soft Right.

ANEXO A

**ESTRUCTURA BASICA DE LA RED CENTRAL
(CORE NETWORK)**

El 3GPP empieza a formular especificaciones para 3G desde el inicio de 1998, como estaba programada la versión R99 sería completada a finales de 1999, pero en realidad no fue terminada hasta marzo 2000. Después de R99, la versión había dejado de ser nombrado por el año. Al mismo tiempo las funciones del R2000 son ejecutadas por las siguientes dos fases: R4 y R5. En principio las especificaciones en R99 son un subconjunto de las especificaciones establecidas en R4. Del mismo modo las especificaciones de R4 son un subconjunto de las especificaciones establecidas en R5.

Para las 3 versiones, el equipamiento del dominio PS no cambia, solamente sus protocolos se van mejorando y optimizando. El dominio CS y la red GSM R99 no cambian fundamentalmente. En una red R4 el MSC como CN del dominio CS se divide en MSC Server y el MGW, al mismo tiempo, un SGW se añade, y el HLR puede ser dividido por el HSS (no se especifica en el estándar). Una red R5 soporta voz sobre IP punto a punto y el CN adopta nuevas funciones. Con el IMS (IP Multimedia Subsystem) la red puede usar HSS en lugar de HLR.

Estructura e Interfaces de una red R99

Para garantizar la inversión de los operadores, el diseño de la estructura de una red R99 ha considerado plenamente la compatibilidad 2G/3G, a fin de apoyar la transición sin tropiezos de GSM/GPRS/3G, por lo tanto el dominio CS y PS son paralelos en la red. La red R99 incluye los siguientes equipamientos: MSC/VLR, IWF, SGSN, GGSN, HLR/AuC y EIR. Para soportar los servicios 3G, se añaden los protocolos correspondientes a las interfaces además de los nuevos equipos. La figura anexo A.1 muestra la estructura básica de una red PLMN. Todas las entidades en la figura pueden ser consideradas como dispositivos físicos independientes.

En la función de las entidades del dominio incluyen MSC, VLR y otros. De acuerdo a los diferentes modos de conexión el operador puede configurar el MSC como GMSC, SM-GMSC o SM-IW MSC. Para implementar funciones de interworking, el IWF (usualmente trabajo dentro del MSC) es configurado en el sistema. Además de las mencionadas funciones de las entidades, la función específica de las entidades del dominio PS incluye al SGSN y GGSN para ofrecer servicios de datos sobre paquetes a los usuarios. HLR, AuC y EIR son dispositivos comunes compartidos por los dominios CS y PS.

Las principales funciones de las entidades en R99 son:

1) Mobile Switching Center (MSC)

El MSC es específico del dominio CS, este conecta los sistemas de radio (BSS y RNS) con la red fija. Este implementa todas las funciones de llamadas sobre conmutación de circuitos, por ejemplo, procedimiento de control de llamada, gestión de los servicios de

comunicación del MS dentro de la red o otras redes (PSTN/ISDN) y provee información de cobro.

2) Visitor Location Register (VLR)

El VLR es específico del dominio CS. Este almacena la información del registro de los usuarios, también como la información necesaria para el establecimiento de una llamada para el usuario. Cuando un MS está bajo la cobertura de un nuevo VLR, este nuevo VLR inicia el procedimiento de registro de ubicación para el HLR, sin embargo cuando el MS deja dicha área de cobertura, la data del usuario será borrada. Por tal razón el VLR puede ser considerado como una base de datos dinámica.

3) Home Location Register (HLR)

El HLR es un dispositivo compartido por el dominio CS y PS, responsable de manejar la base de datos de los usuarios móviles. Una PLMN puede contener uno o más HLRs, la cantidad será determinada por la cantidad de usuarios, la capacidad del sistema y la estructura de la red. Toda la información del usuario de un área controlada por un HLR (información de localización, servicios de usuario) es almacenada en esta base de datos. Cuando un abonado se mueve de la cobertura de un VLR a otro, el HLR recibe la información de la nueva localización y pide al VLR anterior borrar todos los datos del abonado. Cuando el abonado es llamado este proveerá la información de enrutamiento.

4) Authentication Center (AuC)

AuC es un dispositivo compartido por los dominios CS y PS para almacenar la identidad de los algoritmos de autenticación de los usuarios y la llave de cifrado. AuC envía información de autenticación y cifrado al VLR, MSC y SGSN a través del HLR, para asegurar la legalidad de y seguridad de la comunicación. Cada AuC se asocia con el correspondiente HLR, y este se comunica con otros solamente a través de este HLR. Usualmente el AuC y HLR están combinados en la misma entidad física.

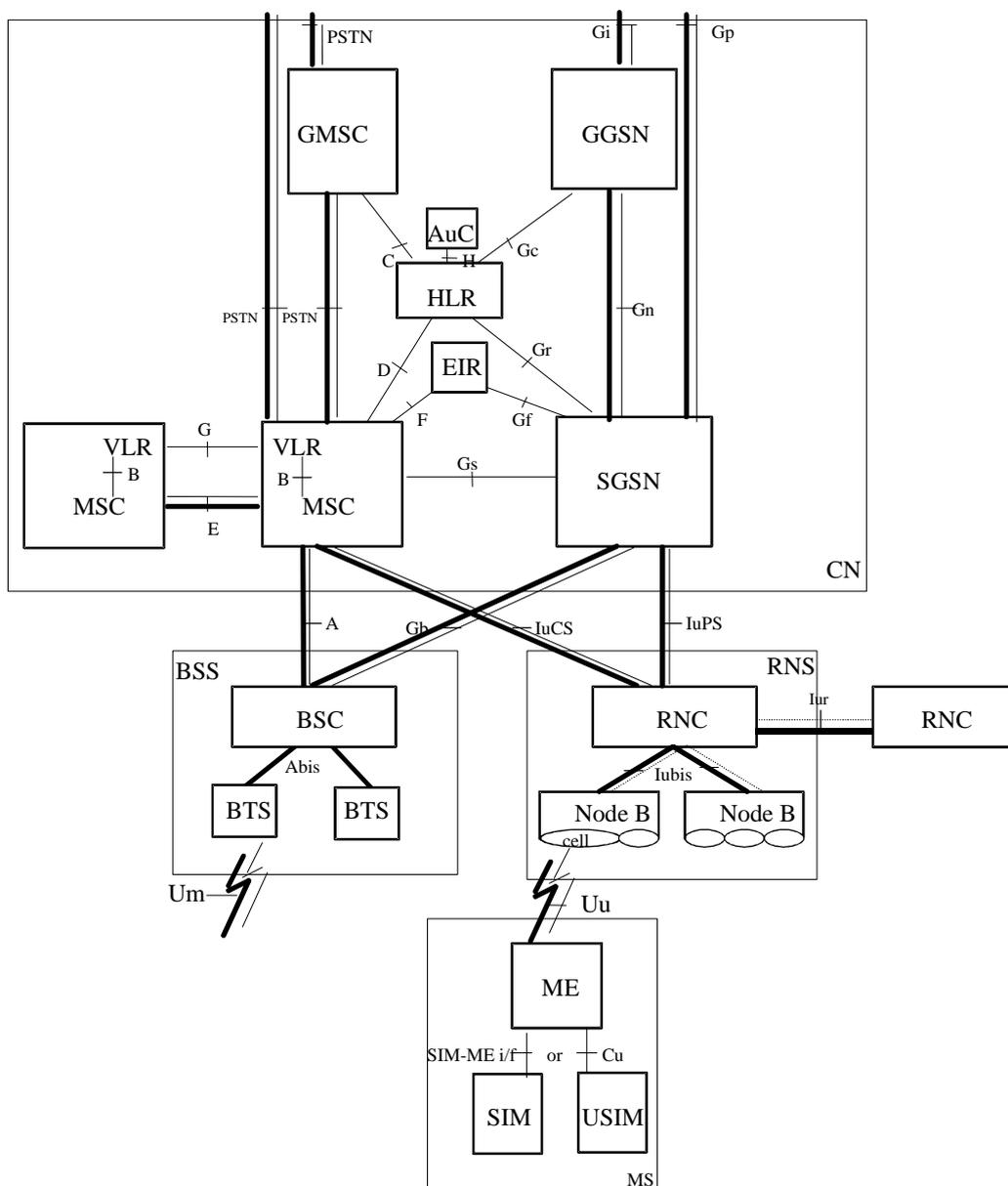
5) Equipment Identification Register (EIR)

El EIR es un dispositivo compartido por los dominios CS y PS, esta base de datos almacena los IMEI's (Internacional Mobile Equipment Identity) de los terminales móviles utilizados en la red. Los terminales móviles son divididos en tres listas: blanca, gris y negra.

6) Gateway MSC (GMSC)

El GMSC es un dispositivo específico del dominio CS, trabaja como la interface entre el sistema y otras redes de comunicaciones públicas, tienen la función de consultar por información de localización. Cuando un MS es llamado, si la red no está segura a que HLR pertenece, este debe consultar al HLR a través del GMSC, y posteriormente derivar la llamada al MSC al cual está registrado el MS.

Particularmente los operadores pueden decidir que MSC puede ser tomado como GMSC.



Las líneas sombreadas indican interfaces que soportan servicios de usuario y las líneas delgadas indican interfaces que soportan señalización.

Figura Anexo A.1 Estructura de una red R99

Fuente: Tutorial Huawei

7) Serving GPRS Support Node (SGSN)

El SGSN es un equipo específico del dominio PS, y este provee la conexión entre el CN y BSS o RNS de los sistemas de acceso radio. El SGSN está encargado de la gestión de la movilidad y la gestión de la sesión de los servicios de datos sobre paquetes. Además,

gestiona la telefonía móvil y servicios de comunicación de cada MS con la red, y provee la información de cobro.

8) Gateway GPRS Supporting Node (GGSN)

El GGSN es solo un equipo del dominio PS, se comporta como la interface entre el sistema de comunicaciones móviles y otras redes de datos, este tiene la función de consultar por información de ubicación. Cuando un MS es llamado, primero la información es transmitida al GGSN, entonces el GGSN hace la consulta sobre la actual información de ubicación al HLR y reenvía esta llamada al SGSN al cual está registrado el usuario. GGSN también provee información de cobro.

Los protocolos utilizados para cada interface en una red R99 se muestran en la Tabla Anexo A.1

Nombre de Interface	Entidades conectadas	Protocolo y Señalización
A	MSC-BSC	BSSAP
Iu-CS	MSC-RNS	RANAP
B	MSC-VLR	
C	MSC-HLR	MAP
D	VLR-HLR	MAP
E	MSC-MSC	MAP
F	MSC-EIR	MAP
G	VLR-VLR	MAP
Gs	MSC-SGSN	BSSAP+
H	HLR-AuC	
	MSC-PSTN/ISDN/PSPDN	TUP/ISUP
Ga	GSN-CG	GTP'
Gb	SGSN-BSC	BSSGP
Gc	GGSN-HLR	MAP
Gd	SGSN-SMS-GMSC/IW MSC	MAP
Ge	SGSN-SCP	CAP
Gf	SGSN-EIR	MAP
Gi	GGSN-PDN	TCP/IP
Gp	GSN-GSN (Inter PLMN)	GTP
Gn	GSN-GSN (Intra PLMN)	GTP
Gr	SGSN-HLR	MAP
Iu-PS	SGSN-RNC	RANAP

Tabla Anexo A.1 Interfaces en una red R99

Fuente: Tutorial Huawei

Estructura e Interfaces de una red R4

La Figura anexo A.2 muestra la estructura básica de una red versión R4. Todas las entidades que se muestran en la figura pueden ser consideradas como dispositivos físicos independientes. El estándar de las interfaces Nb, Mc y Nc están descritos en la especificación técnica 23.205 y serie 29.

En aplicaciones actuales, algunas funciones pueden ser combinadas dentro de la misma entidad física, tal como MSC/VLR y HLR/AuC, para convertir algunas interfaces en interfaces internas.

En la versión R4, la función de las entidades (SGSN y GGSN) del dominio PS no han cambiado y también son interfaces externas. La función de las entidades del dominio CS aun contienen los siguientes dispositivos: MSC, VLR, HLR, AuC, EIR y así sucesivamente, y la interrelación entre ellos siguen siendo la misma. Para satisfacer las necesidades del desarrollo de todas las redes IP, las entidades del dominio CS tiene los siguientes cambios:

- 1) Cuando sea necesario, el MSC puede ser dividido en dos diferentes entidades: MSC Server (únicamente para procesar señalización) y el Circuit Switched Media Gateway (CS-MGW para procesar información de usuario) para implementar juntos la función de MSC. El GMSC también dividido en GMSC Server y CS-MGW.

MSC SERVER

El MSC Server está compuesto de un modulo de control de llamada y un modulo de control de movilidad para procesar las llamadas del dominio CS. Este termina y convierte la señalización usuario-red en señalización red-red. Esto puede también contener VLR para procesar la información de servicios y la información relacionada con CAMEL. El MSC Server puede controlar parte del estatus utilizando el modulo de control de conexiones de los canales del CS-MGW.

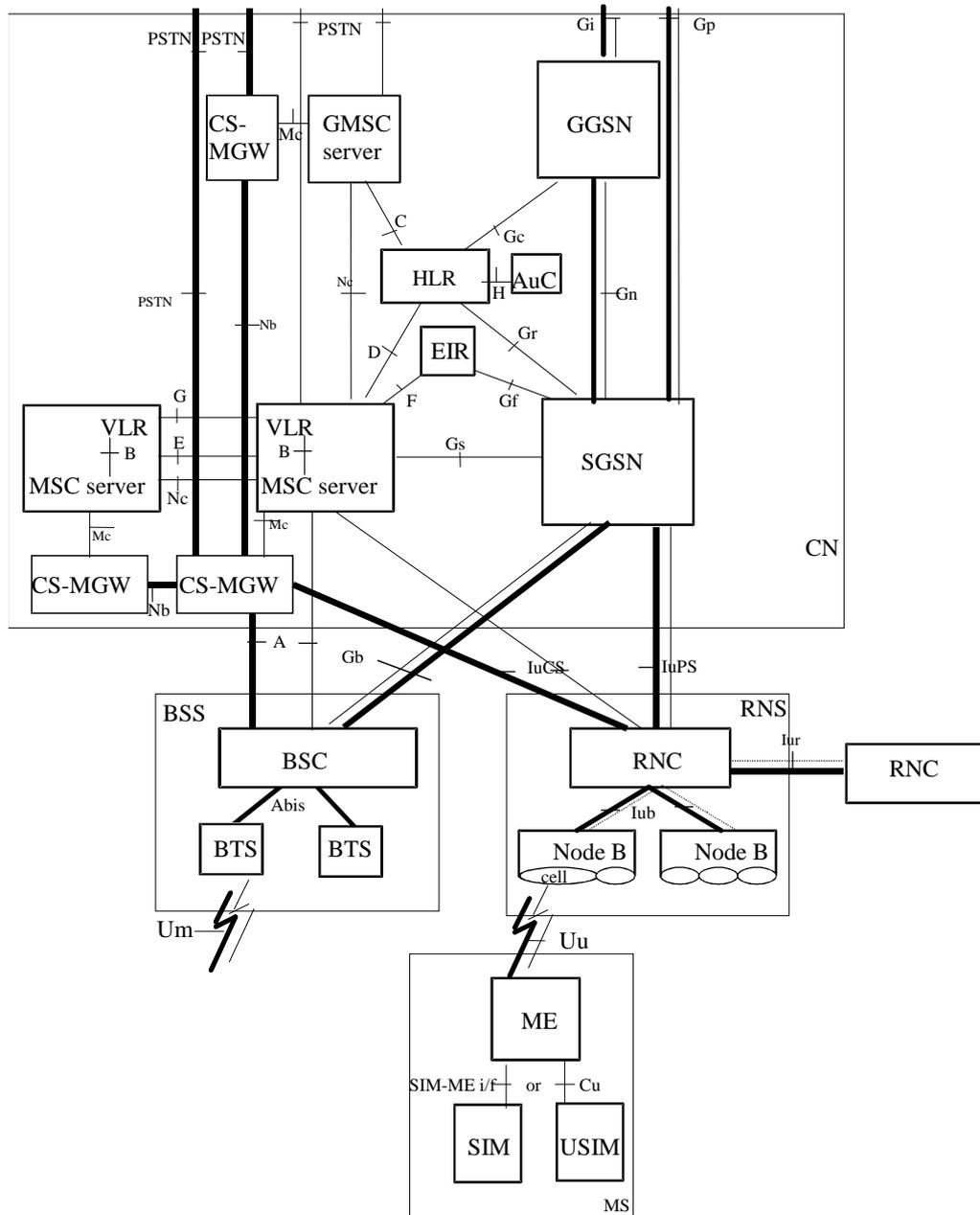
CIRCUIT SWITCHED MEDIA GATEWAY

El CS-MGW es el punto de terminación de la transmisión de una PSTN/PLMN, y este conecta el CN y UTRAN a través de la interface Iu, puede ser el punto de terminación de cualquiera de los canales desde la red CS o los flujos de datos de la red de paquetes (tales como flujos RTP en redes IP). En la Interface Iu, el CS-MGW puede soportar conversiones de medio, controlar la portadora y procesar la carga útil (convertir la señal digital en diferentes codec's, cancelación de eco, puente de conferencia), y también puede soportar diferentes opciones de Iu para servicios (basados en AAL2/ATM o RTP/UDP/IP).

El CS-MGW puede tener los recursos necesarios para soportar los medios de transporte UMTS/GSM. Además puede requerir que el protocolo H.248 para soportar la codificación

de la señal digital y la elaboración de la trama de protocolo.

El modulo de control de portadora o bearer y la capacidad de procesamiento de carga útil del CS-MGW pueden ser utilizados para soportar funciones de movilidad tales como SRNS reallocation/handover y servicios de localización, Hoy en día, se espera que el mecanismo estándar H.248 se pueda utilizar para admitir estas funciones.



Las líneas sombreadas indican interfaces que soportan servicios de usuario y las líneas delgadas indican interfaces que soportan señalización.

Figura Anexo A.2 Estructura de una red R4

Fuente: Tutorial Huawei

GMSC SERVER

El GMSC Server está conformado por un modulo de control de llamadas y un modulo de control de movilidad.

2) En R4, una nueva entidad ha sido agregada, el Signaling Gateway (SGW)

Existen dos métodos para transportar la señalización: SS7 tradicional basado en TDM y SIGTRAN, que es una red de transporte de señalización basada en IP.

Un Signaling Gateway es necesario para convertir protocolos de la capa de transporte (ejemplo para convertir SIGTRAN SCTP/IP a SS7 MTP) cuando dos equipos de comunicaciones utilizan diferentes métodos de transporte de señalización. El SGW no interpreta los mensajes de la capa de aplicación (ejemplo: MAP, CAP, BICC, ISUP) pero puede que tenga que interpretar las capas intermedias para garantizar el correcto enrutamiento de la señalización.

En una red R4 algunas interfaces son agregadas, esto se muestra en la Tabla Anexo A.2

Nombre de Interface	Entidades conectadas	Protocolo y señalización
A	MSC-BSC	BSSAP
IuCS	MSC-RNS	RANAP
B	MSC-VLR	
C	MSC-HLR	MAP
D	VLR-HLR	MAP
E	MSC-MSC	MAP
F	MSC-EIR	MAP
G	VLR-VLR	MAP
Gs	MSC-SGSN	BSSAP+
H	HLR-AuC	
	MSC-PSTN/ISDN/PSPDN	TUP/ISUP
Ga	GSN-CG	GTP'
Gb	SGSN-BSC	BSSGP
Gc	GGSN-HLR	MAP
Gd	SGSN-SMS-GMSC/IW/MSC	MAP
Ge	SGSN-SCP	CAP
Gf	SGSN-EIR	MAP
Gi	GGSN-PDN	TCP/IP
Gp	GSN-GSN (Inter PLMN)	GTP
Gn	GSN-GSN (Intra PLMN)	GTP
Gr	SGSN-HLR	MAP
IuPS	SGSN-RNC	RANAP

Tabla Anexo A.2 Interfaces en una red R4

Fuente: Tutorial Huawei

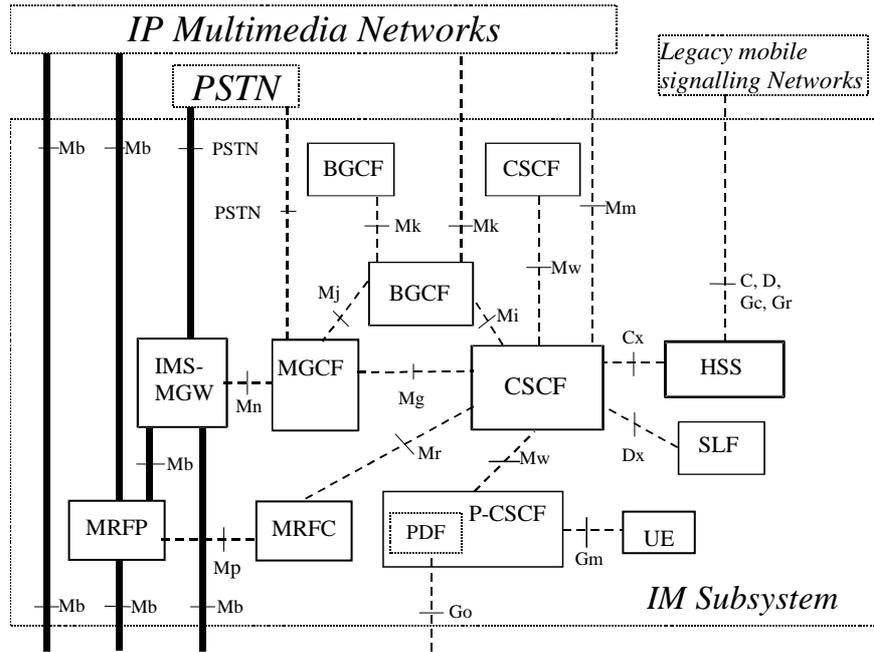


Figura Anexo A.4 Estructura de una red IMS R5

Fuente: Tutorial Huawei

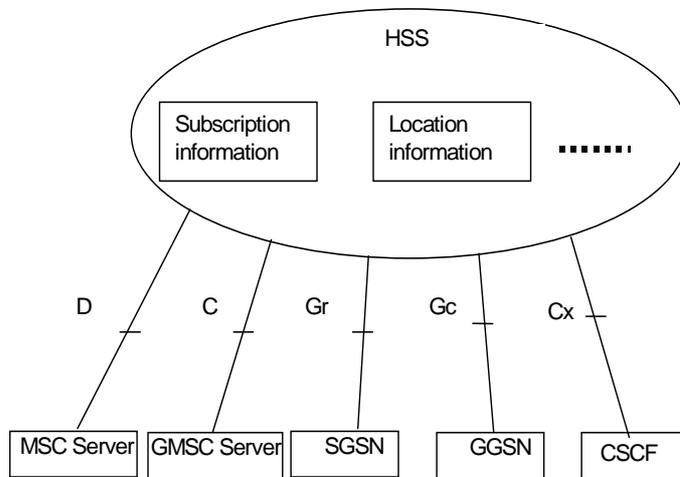


Figura Anexo A.5 Estructura Básica e Interfaces del HSS

Fuente: Tutorial Huawei

HSS puede integrar diferentes tipos de información para mejorar los servicios de soporte de aplicación y servicio de dominio del CN, así como la protección contra los diferentes tipos de estructura de red de capa superior. Este soporta las siguientes funciones: Función de control del usuario solicitada por el subsistema IM, subconjunto de funciones

del HLR solicitadas por el dominio PS y funciones del HLR del dominio CS (en el caso que los usuarios tengan acceso al dominio CS o muden a una red tradicional)

2) Call Status Control Function (CSCF)

El CSCF tiene las siguientes formas: Proxy CSCF (P-CSCF), Servidor CSCF (S-CSCF) o Interrogador CSCF (I-CSCF)

P-CSCF: Actúa como el primer punto de acceso del UE en el subsistema IM.

S-CSCF: Procesa el estatus de la sesión en la red.

I-CSCF: Principalmente procesa el enrutamiento de solicitudes de llamadas SIP, al igual que la función del GMSC en el dominio CS.

La Función de decisión de política (PDF) es una entidad lógica del P-CSCF. Si el PDF es implementado en un nodo físicamente separado, la interface entre el PDF y el P-CSCF no está estandarizada.

3) Media Gateway Control Function (MGCF)

Sus principales funciones son:

- Controlar parte del estatus de la llamada del modulo de control de conexión en los canales del IMS-MGW.
- Comunicarse con el CSCF.
- Seleccionar CSCF de acuerdo al enrutamiento de la llamada desde una red tradicional.
- Convertir los protocolos de control de llamadas entre ISUP y el subsistema IM.
- Recepción de información fuera de banda y transmitirla al CSCF/IMS-MGW.

4) IP Multimedia Subsystem. Media Gateway (IMS-MGW)

Un IMS-MGW puede terminar los canales desde una red de conmutación de circuitos y flujos de paquetes desde una red de datos (flujo RTP en una red IP). El IMS-MGW puede soportar conversiones de medio, control de portadora y procesamiento de carga útil (codificación, cancelador de eco, puente de conferencia)

El IMS-MGW implementa las siguientes funciones:

- Interconectar con el MGCF para el control de los recursos.
- Propietaria y manejar los recursos de radio tales como cancelador de eco.
- Puede necesitar tener codificación.

5) Multimedia Resource Function Controller (MRFC)

El MRFC implementa las siguientes funciones:

- Control de los recursos de flujos de medios en el MRFP
- Interpretar la información entrante desde un AS y S-CSCF, así como controlar el MRFP.
- Generar CDR's (Registros de llamadas)

6) Multimedia Resource Function Processor (MRFP)

El MRFP implementa las siguientes funciones:

- Control de las portadoras o bearers desde el punto de referencia de la Interface Mb.
- Provee recursos para ser controlados por el MRFC.
- Mezclar flujos de medios entrantes (conferencia)
- Fuente de flujos multimedia (anuncios multimedia)
- Procesar flujo multimedia (transcodificación de audio, análisis de medios)

7) Subscription Locator Function (SLF)

El SLF implementa las siguientes funciones:

- Es requerido por el I-CSCF durante la registración y el establecimiento de la sesión para obtener el nombre del HSS que contiene la información del usuario. Por otra parte el SLF es también consultado por el S-CSCF durante la registración.
- Se accede a través de la interface Dx.
- El SLF no es requerido en un simple ambiente HSS.

8) Breakout Gateway Control Function (BGCF)

El BGCF selecciona la red en dominio PSTN/CS la cual es liberada. Si el BGCF determina que la liberación esta por ocurrir en la misma red en la cual el BGCF está localizado, entonces el BGCF seleccionara un MGCF el cual será el responsable por interactuar con el dominio PSTN/CS. Si la liberación está en otra red, el BGCF reenviará la señalización de la sesión hacia otro BGCF en la nueva red seleccionada.

Las funciones realizadas por el BGCF son:

- Recibir consultas desde el S-CSCF para seleccionar el adecuado dominio PSTN/CS liberado.
- Seleccionar la red en la cual la interconexión con el dominio PSTN/CS esta por ocurrir. Si la interconexión es con otra red, entonces el BGCF reenviara la señalización SIP hacia el BGCF de esa red. Si la interconexión es con otra red y el operador solicita estar oculto, el BGCF reenviara la señalización SIP vía un I-CSCF basado en el BGCF de la otra red.
- Seleccionar el MGCF en la red en la cual la interconexión con el dominio PSTN/CS se la liberado y reenviar la señalización SIP hacia el MGCF. Esto puede no aplicar si la interconexión está en una red diferente.

El BGCF puede usar la información recibida desde otros protocolos, o puede usar información administrativa, cuando se hace la elección de una red.

ANEXO B

**USUARIOS 3G UMTS – HSDPA POR DISTRITO
(ESCENARIO MODERADO)**

Distritos Provincia Arequipa	Superficie (km ²)	Usuarios 3G			Densidad de usuarios (sub/km ²)		
		2010	2011	2012	2010	2011	2012
Arequipa	2.80	17,079.5	17,626.0	18,190.1	6,099.8	6,295.0	6,496.4
Alto Selva Alegre	6.98	18,782.6	19,383.6	20,003.9	2,690.9	2,777.0	2,865.9
Yanahuara	2.20	6,321.5	6,523.7	6,732.5	2,873.4	2,965.3	3,060.2
Jose Luis Bustamante y Rivero	10.83	20,127.2	20,771.3	21,436.0	1,858.5	1,917.9	1,979.3
Paucarpata	31.07	30,696.2	31,678.4	32,692.1	988.0	1,019.6	1,052.2
Socabaya	18.64	15,815.2	16,321.3	16,843.6	848.5	875.6	903.6
Jacobo Hunter	20.37	11,576.3	11,946.7	12,329.0	568.3	586.5	605.3
Miraflores	28.68	13,718.1	14,157.1	14,610.1	478.3	493.6	509.4
Mariano Melgar	29.83	13,299.8	13,725.4	14,164.6	445.9	460.1	474.8
Sachaca	26.63	4,401.0	4,541.8	4,687.1	165.3	170.6	176.0
Cerro Colorado	174.90	28,777.6	29,698.5	30,648.9	164.5	169.8	175.2
Tiabaya	31.62	3,539.9	3,653.2	3,770.1	112.0	115.5	119.2
Cayma	246.31	18,859.0	19,462.5	20,085.3	76.6	79.0	81.5
Sabandía	36.63	989.6	1,021.2	1,053.9	27.0	27.9	28.8
Characato	86.00	1,807.2	1,865.0	1,924.7	21.0	21.7	22.4
Mollebaya	26.70	440.1	454.2	468.7	16.5	17.0	17.6
Uchumayo	227.14	2,707.1	2,793.8	2,883.2	11.9	12.3	12.7
La Joya	670.22	6,376.8	6,580.9	6,791.4	9.5	9.8	10.1
Quequeña	34.93	318.9	329.1	339.6	9.1	9.4	9.7
San Juan de Sigwas	93.31	424.3	437.9	451.9	4.5	4.7	4.8
Santa Rita de Sigwas	370.16	1,375.6	1,419.7	1,465.1	3.7	3.8	4.0
Yura	1942.90	3,761.3	3,881.6	4,005.8	1.9	2.0	2.1
Santa Isabel de Sigwas	187.98	413.1	426.3	439.9	2.2	2.3	2.3
Chiguata	460.81	668.1	689.4	711.5	1.4	1.5	1.5
Pocsi	172.48	210.8	217.6	224.5	1.2	1.3	1.3
Polobaya	441.61	480.3	495.7	511.5	1.1	1.1	1.2
Yarabamba	492.20	290.5	299.8	309.4	0.6	0.6	0.6
Vitor	1543.50	789.3	814.5	840.6	0.5	0.5	0.5
San Juan de Tarucani	2264.59	417.0	430.4	444.2	0.2	0.2	0.2
		224463.6	231646.5	239059.2			

Tabla Anexo B.1 Usuarios 3G por distrito

Fuente: INEI, Elaboración propia

Distritos Provincia Arequipa	Superficie (km ²)	Usuarios 3G			Usuarios HSDPA (80%)		
		2010	2011	2012	2010	2011	2012
Arequipa	2.8	1921.2	2167.7	2385.2	686.1	774.2	851.9
Alto Selva Alegre	6.98	2112.8	2383.8	2623.0	302.7	341.5	375.8
Yanahuara	2.20	711.1	802.3	882.8	323.2	364.7	401.3
Jose Luis Bustamante y Rivero	10.83	2264.0	2554.5	2810.8	209.1	235.9	259.5
Paucarpata	31.07	3452.9	3895.9	4286.8	111.1	125.4	138.0
Socabaya	18.64	1779.0	2007.2	2208.6	95.4	107.7	118.5
Jacobo Hunter	20.37	1302.2	1469.2	1616.7	63.9	72.1	79.4
Miraflores	28.68	1543.1	1741.1	1915.8	53.8	60.7	66.8
Mariano Melgar	29.83	1496.0	1688.0	1857.4	50.2	56.6	62.3
Sachaca	26.63	495.0	558.6	614.6	18.6	21.0	23.1
Cerro Colorado	174.90	3237.1	3652.4	4018.9	18.5	20.9	23.0
Tiabaya	31.62	398.2	449.3	494.4	12.6	14.2	15.6
Cayma	246.31	2121.4	2393.5	2633.7	8.6	9.7	10.7
Sabandía	36.63	111.3	125.6	138.2	3.0	3.4	3.8
Characato	86.00	203.3	229.4	252.4	2.4	2.7	2.9
Mollebaya	26.70	49.5	55.9	61.5	1.9	2.1	2.3
Uchumayo	227.14	304.5	343.6	378.1	1.3	1.5	1.7
La Joya	670.22	717.3	809.3	890.5	1.1	1.2	1.3
Quequeña	34.93	35.9	40.5	44.5	1.0	1.2	1.3
San Juan de Sigwas	93.31	47.7	53.8	59.3	0.5	0.6	0.6
Santa Rita de Sigwas	370.16	154.7	174.6	192.1	0.4	0.5	0.5
Yura	1,942.90	423.1	477.4	525.3	0.2	0.2	0.3
Santa Isabel de Sigwas	187.98	46.5	52.4	57.7	0.2	0.3	0.3
Chiguata	460.81	75.1	84.8	93.3	0.2	0.2	0.2
Pocsi	172.48	23.7	26.8	29.4	0.1	0.2	0.2
Polobaya	441.61	54.0	61.0	67.1	0.1	0.1	0.2
Yarabamba	492.20	32.7	36.9	40.6	0.1	0.1	0.1
Vitor	1,543.50	88.8	100.2	110.2	0.1	0.1	0.1
San Juan de Tarucani	2,264.59	46.9	52.9	58.2	0.0	0.0	0.0
		25249.1	28488.2	31347.0			

Tabla Anexo B.2 Usuarios HSDPA por distrito

Fuente: INEI, Elaboración propia

ANEXO C

METODOS DINAMICOS DE SELECCIÓN DE NIVERSIONES (VAN Y TIR)

Una inversión es la entrega de recursos económicos con el objetivo de recibir a cambio otros recursos económicos, renunciando a una satisfacción inmediata y cierta a cambio de una esperanza futura que proporcione más utilidad. Un tipo concreto de inversión son las inversiones productivas o de capital conocidos en ocasiones como proyectos de inversión, ejemplos de los cuales serían los terrenos, edificios y equipos productivos o tecnológicos. Seleccionar inversiones consiste en decidir si un proyecto debe ser realizado o no. Cualquier inversión se puede definir por la corriente de pagos e ingresos que origina, considerando cada uno en su momento en el que se producen. Así, la empresa debe evaluar todas las entradas y salidas de caja que se produzcan como consecuencia de la inversión, tanto en la actualidad como en el futuro, para obtener una medida del valor de cada proyecto. En general, la aceptación de proyectos con valor positivo permite que se incremente el valor global de la empresa.

Los métodos de selección de inversiones también sirven para ayudar a la empresa a comparar inversiones entre sí y poder elegir las mejores. Estos métodos clásicos se dividen en estáticos y dinámicos, según tengan en cuenta o no el factor tiempo. De entre los métodos estáticos, destacan el método del período de recuperación (*pay-back*) y el del rendimiento porcentual. Los métodos dinámicos más utilizados son el del valor capital o valor actualizado neto (VAN), la tasa de interés interno (TIR), el *pay-back* descontado y el índice de rentabilidad por flujos de caja descontados.

En la puesta en práctica de estos métodos clásicos, se suelen asumir una serie de simplificaciones, como utilizar una estimación puntual y única de los flujos de caja (normalmente su esperanza matemática), reducir el riesgo a un tipo de descuento único o fijar la duración de la inversión. Por este motivo, se han desarrollado métodos que incluyen aplicaciones estadísticas para la aleatorización de los flujos de caja y el tratamiento del riesgo. El proceso de selección y seguimiento de inversiones se compone de los siguientes pasos:

- Elaboración del presupuesto de la inversión.
- Estimación de los flujos de caja de cada propuesta.
- Selección de la alternativa de inversión con un método adecuado.
- Reevaluación y seguimiento de las inversiones después de su aceptación.

ESTIMACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS FLUJOS DE CAJA

Los resultados finales de la valoración serán tan fiables como lo sea la calidad de las estimaciones de los flujos de caja esperados. De nada sirve el mejor de los métodos si los datos a los que se aplica son erróneos.

A. Reglas generales para la determinación de los flujos de caja

1. No se trabaja con beneficios contables, sino con flujos de caja, que reflejan las

entradas y salidas de dinero que realmente se producen en la empresa.

2. Los flujos de caja se consideran después de impuestos, ya que es la cuantía susceptible de ser reinvertida en la empresa. Es decir, los impuestos suponen una mera salida de caja relacionada con la explotación de la inversión.
3. Sólo interesan los flujos de caja netos (Diferencia entre flujos positivos y negativos) e incrementales. La cuestión a la que se debe dar respuesta para decidir si se debe adoptar o no la decisión de realizar o no la inversión, es si compensa la inversión inicial que supondría para luego ganar una cantidad superior (incremental) a la que ya se venía ganando sin necesidad ahora mismo de realizar ningún desembolso monetario. Así, deben incluirse todos los efectos derivados, sin olvidarse de las necesidades de fondo de maniobra, pero sin tener en cuenta los costes irre recuperables (costes hundidos).
4. Se ha de separar la decisión de inversión de las decisiones necesarias para su financiación. No se deben restar de la inversión inicial los ingresos provenientes del endeudamiento o ampliación de capital contraído para realizarla, ni se deben restar de los flujos de caja positivos los pagos de intereses, principal o dividendos consecuencia de la financiación.
5. A la hora de comparar diferentes proyectos de inversión dentro de la misma empresa se suele suponer que todas las alternativas de inversión tienen el mismo riesgo empresarial y financiero, y que no modifican la política de dividendos de la empresa.

B. Modelo simplificado de estimación de flujos de caja

Se distinguen tres clases de flujos de caja:

1. Desembolso inicial

Estimación del desembolso inicial imputable a la nueva inversión, que comprende:

- Desembolsos necesarios para la compra, el transporte y la instalación de los activos que constituyen la nueva inversión, hasta la entrada en funcionamiento del bien.
- Ingresos derivados de la venta de activos sustituidos.
- Efecto fiscal por la plusvalía/minusvalía fruto de dicha a venta de activos sustituidos.
- Necesidades incrementales del fondo de maniobra operativo

2. Determinación de los flujos de tesorería anuales

Se puede calcular el flujo de caja incremental como:

$$\begin{aligned} \text{DCF} &= \text{DB} + \text{Dam} + \text{DFMop} = (\text{DV} - \text{DC} - \text{DAm}) (1 - t) + \text{DAm} + \text{DFMop} = \\ &= (\text{DV} - \text{DC}) (1 - t) + (t \text{ DAm}) + \text{DFMop}, \end{aligned}$$

Donde:

DCF: flujo de caja incremental

DB: diferencia en el beneficio después de impuestos

DAm: variación de amortizaciones

DV: variación en las ventas

DC: variación en los costes operativos.

DFMop: variación en el Fondo de Maniobra Operativo

3. Valor residual

Se refiere al valor de mercado de los activos adquiridos, si existe, al final de la vida de la inversión. Será necesario incluir, en su caso, los ajustes fiscales debidos a la diferencia entre el precio de venta y el valor en libros. Debe incluirse también la recuperación del Fondo de Maniobra necesario para el funcionamiento del proyecto, que se revierte en el momento final del mismo.

MÉTODOS CLÁSICOS DINÁMICOS PARA LA EVALUACIÓN DE INVERSIONES

Los métodos dinámicos para la evaluación de inversiones, al contrario que los estáticos, tienen en cuenta el momento temporal en que se producen los FC.

A. Valor actual neto (VAN)

El VAN es la diferencia entre el valor actual de los flujos de caja netos que produce una inversión y el desembolso inicial requerido para llevarla a cabo, y representa el aumento o disminución del valor de la empresa por realizar la inversión. Informa acerca del valor absoluto de un proyecto en términos monetarios y en el momento actual. El método del VAN tiene en cuenta el valor del dinero en el tiempo. Esto supone que es preferible una cantidad de dinero en el momento actual que la misma cantidad recibida en fecha futura. Además, se supone que la inversión se financia al coste de capital de la empresa, al cual pueden obtenerse todos los fondos que se desee; así mismo, se supone que los flujos de caja recuperados se invierten a una tasa igual a dicho coste de capital, al cual también pueden colocarse todos los fondos que se deseen.

Cálculo:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} + \frac{VR}{(1+k)^t} - I_0, \text{ con:} \quad (\text{Anexo C.1})$$

FCt: flujo de caja que produce la inversión en el período t

I₀: inversión inicial

k: tasa de descuento ajustada por el riesgo

n: duración estimada del proyecto

VR: valor residual del bien en el momento n.

La tasa de descuento (k) es la tasa de rentabilidad exigida a la que se renuncia para invertir en un proyecto (o coste de oportunidad del capital).

Criterio de decisión

Se aceptan los proyectos que aumenten el valor de la empresa (i.e. los que tengan un VAN positivo); se rechazan los que no lo aumenten (VAN nulo o negativo).

Si se van a emprender dos proyectos de inversión, su VAN conjunto será la suma de los VAN respectivos (los VAN son aditivos). Así, aunque uno de ellos tenga un VAN negativo, el VAN conjunto aún puede ser positivo. Sin embargo, si se puede optar por llevar a cabo sólo una de las inversiones, habría que elegir sólo aquella que fuera positiva.

En el caso de tener que elegir entre dos proyectos cuyo VAN sea positivo, se elegirá aquel con un VAN mayor.

El criterio del valor actual neto mantiene que los directivos incrementan la riqueza

de los accionistas cuando aceptan todos los proyectos que valen más de lo que cuestan. Por tanto, los directivos deben aceptar todos los proyectos que tengan un valor actual neto positivo, favoreciendo así a sus accionistas. Esto último hay que matizarlo ya que en la realidad existen limitaciones al capital invertible, por lo que se da el fenómeno del racionamiento del capital, del que hablaremos más adelante.

Ventajas:

- Es el método conceptualmente más perfecto.
- Aceptar un proyecto basándose en este criterio supone aumentar el valor de la empresa, por lo que es coherente con el objetivo último de maximizar la creación de valor.
- Utiliza flujos de caja actualizados. Por tanto, tiene en cuenta el diferente valor que toma el dinero en el tiempo

Inconvenientes:

- Necesidad de elaborar previsiones detalladas a largo plazo.
- Otros dos derivados de las hipótesis de partida:
- Dificultad que presenta el problema de la reinversión de los flujos de caja.
- La tasa de descuento (k) puede variar en el tiempo y no ser constante todos los años

B. Tasa interna de rentabilidad (TIR)

La TIR es la tasa de interés que iguala el valor actual de los rendimientos futuros esperados con el coste de la inversión inicial (es decir VAN= 0). Informa acerca de cuál es la tasa de rendimiento porcentual generada por un proyecto. Es importante tener en cuenta que las hipótesis de partida son similares a las empleadas en el método del VAN. También cabe destacar que la TIR es una medida cómoda y ampliamente utilizada que indica la tasa de rentabilidad de las inversiones. En este sentido, puede ser una manera útil de comunicar la rentabilidad de los proyectos. A pesar de sus posibles defectos, generalmente ofrece la respuesta correcta sobre la viabilidad de aquéllos.

Cálculo

$$\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} + \frac{VR}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0$$

(Anexo C.2)

Se calcula generalmente por tanteo, forma de cálculo que también se usa en las calculadoras y los ordenadores.

Hay que tener en cuenta que el TIR puede dar ciertos problemas desde el punto de vista matemático:

- A veces no es posible encontrar una TIR.

- Ej.: $I_0 = 100$; $FC_1 = -300$; $FC_2 = 250$; $n = 2$. No existe ningún tipo de descuento que haga cero el valor actual neto.
- En ocasiones existe más de una tasa de rentabilidad interna, o la TIR resultante es un número imaginario.
 - Ej.: $I_0 = -17.500$; $FC_1 = 109,375$; $FC_2 = -109.375$; $n = 2$. El VAN se hace cero para TIR igual a 25% y 400%.

Decisión

Se aceptan aquellos proyectos cuya tasa interna de rentabilidad es mayor que el coste de capital de la inversión. En general, esto conduce a las mismas decisiones que el VAN, salvo excepciones.

Si se debe elegir entre varias inversiones con TIR mayor que el coste de capital, se escoge la que lo tenga mayor.

Ventaja principal:

- Facilidad de comparación con el coste de capital.

Los inconvenientes son en general los mismos que los del VAN:

- Dificultad de reinversión de flujos.
- En ocasiones conduce a decisiones financieramente poco lógicas.
- Como ya hemos visto puede provocar problemas matemáticos.
- Además, el criterio de la TIR puede llevar a decisiones contradictorias respecto de las sugeridas por el método del VAN. En estos casos el criterio prevalente debería ser el del VAN.

C. Pay-back descontado

Es otro método dinámico que consiste en determinar cuánto tiempo tarda en recuperar la empresa la inversión inicial, teniendo en cuenta el valor del dinero en el tiempo, es decir, actualizando los flujos de caja al momento inicial.

Cálculo

El período de recuperación se obtiene restando de la inversión inicial los flujos de caja (netos y descontados) obtenidos en años sucesivos, hasta que los flujos generados igualen o superen la inversión inicial, usando como interés calculatorio el coste de capital de la empresa.

$$I_0 - \sum_{t=1}^{\tau} \frac{FC_t}{(1+k)^t} = 0 \Rightarrow \tau$$

(Anexo C.3)

Decisión

Sirve para comparar inversiones: se prefiere la que tenga un pay-back más corto.

Además, también se suele utilizar en sentido negativo, rechazando las inversiones que tengan un período de recuperación superior a un determinado límite.

Ventajas:

- Da importancia a los flujos de caja inmediatamente posteriores a la inversión, que de hecho son los más seguros de conseguir y además proporcionan liquidez a la empresa.
- Mejora el pay-back simple (método estático) en cuanto que considera el transcurso del tiempo.

Inconveniente:

- No considera los flujos de caja una vez recuperada la inversión, por lo que puede llevar a despreciar indebidamente proyectos que aportarían valor a la empresa. (VAN>0)

D. Índice de rentabilidad calculado en base a los flujos de caja descontados

Es el cociente entre la suma de los flujos de caja descontados y la inversión inicial.

Cálculo

$$IR = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} + \frac{VR}{(1+k)^t}}{I_0} \quad (\text{Anexo C.4})$$

Decisión

Se aceptan los proyectos cuyo IR sea superior a uno. Cuando se trata de un solo proyecto, este criterio lleva a la misma decisión que el VAN. Si son dos o más, el orden de preferencia puede no ser el mismo. En caso de conflicto, debe preferirse la decisión recomendada por el VAN, ya que éste indica la contribución económica absoluta de un proyecto al valor de una empresa.

Ventajas:

- Permite comparar proyectos de distinto tamaño.

Inconvenientes:

- Requiere una detallada previsión de los flujos de caja incrementales a largo plazo.

LA INFLACIÓN Y LAS DECISIONES DE INVERSIÓN

Normalmente, los tipos de interés se expresan en términos nominales, pero pueden transformarse en reales al descontarlos a la tasa de inflación esperada. Si se usan los tipos nominales, deben usarse flujos nominales; y si se toman tipos reales, también los flujos de caja deberán serlo.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE INVERSIONES

Las inversiones se representan gráficamente mediante un diagrama de flujos de caja, en el que los flujos por encima de la línea se consideran positivos y los flujos situados por debajo son negativos. De este modo se puede realizar un esquema claro de la distribución de los flujos de caja a lo largo del tiempo para posteriormente aplicar los métodos de valoración que estamos estudiando.

Gráficamente quedaría de la siguiente manera:

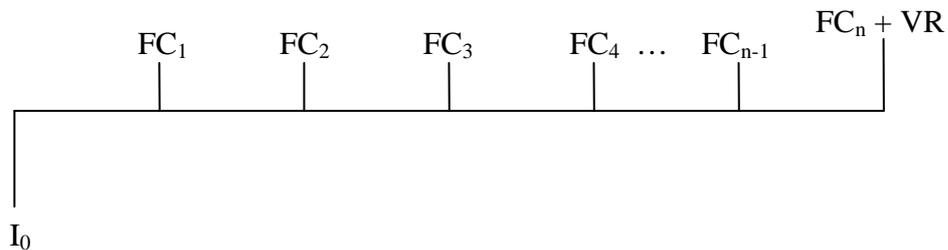


Figura Anexo C.1 Representación grafica del flujo de caja

Fuente: Universidad Pontificia Comillas

En cuanto al valor de una inversión, éste se describe gráficamente como una línea que representa todos los valores actuales netos según sea tipo de interés calculatorio empleado.

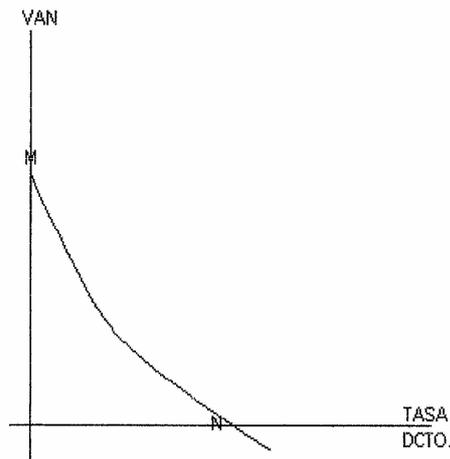


Figura Anexo C.2 Van vs Tasa de Interes

Fuente: Universidad Pontificia Comillas

M representa el VAN cuando el tipo de interés es cero, i.e. la diferencia entre los flujos de caja positivos y negativos, sin descontar.

N es el tipo de interés que hace cero el VAN, es decir, la TIR.

CONSIDERACIONES SOBRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR LOS MÉTODOS DE VAN Y TIR

Normalmente, ambos métodos aconsejan la elección del mismo proyecto cuando haya que elegir entre inversiones mutuamente excluyentes, pero existen casos en que estos métodos recomiendan una decisión diferente.

Si se representan dos inversiones, puede ocurrir que los métodos de VAN y TIR lleven a la misma decisión (gráfico de la izquierda) o bien que lleven a resultados contradictorios según el tipo de interés al que se descuenta (gráfico de la derecha). En este último caso el punto de corte de la representación gráfica de las dos inversiones se conoce como intersección de Fisher (F):

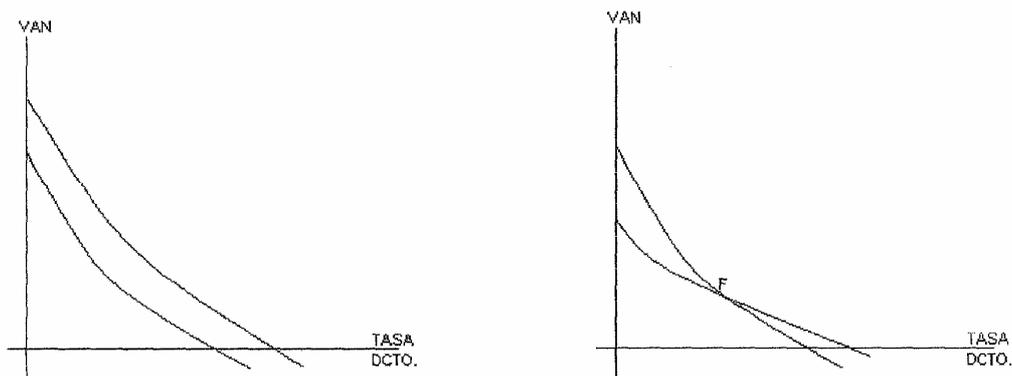


Figura Anexo C.3 Representación de la inversión

Fuente: Universidad Pontificia Comillas

El criterio de la tasa de rentabilidad ofrece el mismo resultado que el criterio del VAN en la medida en que el VAN de los proyectos disminuya suavemente a medida que la tasa de descuento aumenta.

Cuando existen múltiples cambios de signo de los flujos de caja, el criterio de la TIR no funciona bien (ya hemos visto anteriormente los problemas matemáticos que esto ocasiona), mientras que el criterio del VAN funciona bien siempre.

A. Inversiones de distinta duración

Por hipótesis, no serán comparables, por lo que conviene introducir un razonamiento que permita compararlas. Por ejemplo, se puede sustituir una inversión de larga duración por dos de duración más breve pero sucesivas, añadiendo la hipótesis de que las oportunidades de inversión futuras son iguales que las actuales.

B. Inversiones de distinto tamaño

En principio, la solución consiste en elegir el proyecto o la combinación de proyectos que arrojen el mayor VAN. Cuando no hay racionamiento de capital se pueden elegir todos los proyectos rentables independientemente de su tamaño, pero si existe racionamiento (como sucede en general) no es necesariamente lo mejor realizar el proyecto más grande. Hay que analizar el VAN del conjunto de proyectos de menor cuantía que se pueden llevar a cabo con los fondos disponibles y elegir la alternativa que proporcione a la empresa mayor VAN. Una solución a la comparabilidad de proyectos de distinto tamaño es, como hemos visto anteriormente, el índice de rentabilidad.

El racionamiento de capital consiste en que una empresa limita por diversas circunstancias (no desea sobrepasar un determinado endeudamiento, los bancos deciden no prestar, los tipos de interés se encuentran altos, etc) su presupuesto de activo fijo.

Si los proyectos se ordenan según su VAN, debe elegirse el conjunto de proyectos cuyo VAN sea máximo, pero cuya cuantía no supere las restricciones impuestas por el racionamiento de capital.

C. Inversiones en las que la estructura temporal de los flujos de caja es muy diferente

En estos casos es frecuente la presencia de una intersección de Fisher, por lo que, la solución depende de qué tipo de interés va a ser aplicado para la reinversión de los flujos de caja recibidos.

ANEXO D

GLOSARIO

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ALCAP	Access Link Control Application Part
ANSI	American National Standards Institute
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AMR	Adaptative MultiRate
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AUC	Authentication Center
BSC	Base Station Controller
BHCA	Busy Hour Call Attempt
CAMEL	Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic
CCP	Compression Control Protocol
CDMA	Code Division Multiplex Access
CRC	Cyclic Redundancy Check
CS	Circuit Switch
CWTS	China Wireless Telecommunications Standard
EIR	Equipment Identity Register
ETCAS	Enhanced TACS
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division Duplex
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telecommunications System
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway Mobile Switching Center
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile
HLR	home Location Register
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000
IP	Internet Protocol
IS-95	Interim Standard 95
IWF	Interworking Function
LCS	Location Service
MAP	Mobile Application Part
MTC	Ministerio de Transporte y Comunicaciones

NCP	Network Control Protocol
NMT	Nordic Mobile Telephone
NTT	Nippon Telegraph and Telephone
NTACS	Narrowband TACS
PEA	Población Económicamente Activa
PDP	Packet Data Protocol
PS	Packet Switch
RAN	Radio Access Network
RANAP	Radio Access Network Application Part
RLC	Radio link Control
RNC	Radio network Controller
R99	Release 99
SGSN	Serving GPRS Support Node
SMS	Short Message Service
SMSC	Short Message Service Center
TDMA	Time Division Multiplex Access
TACS	Total Access Communication System
TDM	Time Division Multiplexing
TD-SDMA	Time Division Synchronous Code Division Multiple Access
TDD	Time Division Duplex
UIT	Union International of Telecommunications
UIT-R	Unión Internacional de Telecomunicaciones-Radiocomunicaciones
UIT-T	Unión Internacional de Telecomunicaciones-Telecommunications
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
UWC-136	Universal Wireless Communications-136
VLR	Visitor Location Register
WCDMA	Wide Code Division Multiple Access
3GPP	3rd Generation Partnership Project
3GPP2	3rd Generation Partnership Project 2

BIBLIOGRAFÍA

1. Juha Korhonen, "Introduction to 3G Mobile Communications", 2da edición
Artech House – Boston, London 2003.
2. Dr. Jonathan P. Castro, "The UMTS Network and Radio Access Technology",
John Wiley and Sons Ltd. 2001
3. Tektronix, "UMTS Protocols and Protocol testing"
The International Engineering Consortium 2000
4. Ham Holma and Antti Toskala, "WCDMA for UMTS, Radio Access for 3G Mobile
Communications", John Wiley and Sons Ltd. 2000
5. Charlotte.Hildebrand, "UMTS Technical Note",
NetTest, Dinamarca 2003
6. SWC2008, Proyecto TUME (Transporte urbano masivo eficiente),
URL: http://www.swisscontact.org.pe/PRAL/Informe_tume.htm
7. ALV2008, Alvarion Mobile WiMAX Pioneer,
URL: http://www.alvarion.com/upload/images/4Motion_Presentation_CTIA_06.pdf.
8. ProInversion, Agencia de Promoción de la inversión Privada – Perú,
URL: <http://www.proinversion.gob.pe>
9. INEI, Instituto Nacional de Estadística e informática,
URL: <http://www.inei.gob.pe>
10. OSIPTEL, Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones,
URL: <http://www.osiptel.gob.pe>
11. Tomas Ramírez, "Principio de Diseño de Redes 3G",
Universidad Santo Tomas, URL: <http://www.usta.edu.co>
12. Tomas Ramírez, "Modelo de cálculo de Radioenlace"
Universidad Nacional de Rosario, URL: <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar>
13. Rafael Herradon Diez, "Comunicaciones Móviles Digitales"
Universidad Politécnica de Madrid, 2007
14. Andrew, CommScope Company,
URL: <http://awapps.commscope.com>

15. 3G Nokia WCDMA BTS Solutions
Nokia Siemens Networks, 2001
16. DBS3800 System Description,
Huawei Technologies Co, República de China 2006
17. O. Aydin, U. Birkel, A. Gaertner, RM. Goerner, m Hahn, L. Sanchez-Perez, "UMTS
Radio Network Planning Guideline", Alcatel 2001
18. RNC 3202, "Dimensioning WCDMA RAN"
Nokia Siemens Networks, 2007
19. Orjeda ingenieros Asociados SAC,
URL: <http://www.oiasac-pe.com>
20. 3GPP, 3rd Generation Partnership Project
URL: <http://www.3gpp.org>
21. Phd Arun Saha – University of California Riverside
URL: <http://www.cs.ucr.edu/~saha/>