

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**PLANIFICACIÓN DE UNA RED UMTS RELEASE 6 PARA LA
REGIÓN DE CAJAMARCA**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR:

VICTOR CATAORA ORTIZ

**PROMOCIÓN
2006 - I**

**LIMA – PERÚ
2010**

**PLANIFICACIÓN DE UNA RED UMTS RELEASE 6 PARA LA REGIÓN DE
CAJAMARCA**

SUMARIO

El presente trabajo tiene como finalidad mostrar los pasos y procedimientos a seguir para realizar una planificación de una red 3G – Release 6 bajo la tecnología HSDPA y HSUPA con el objetivo de brindar un servicio de telefonía móvil con acceso a Internet con altas velocidades de transferencia de datos. Para la realización del proyecto se escogió a la Región de Cajamarca, específicamente a la ciudad metropolitana y zonas aledañas, como área de implementación de la red debido al desarrollo económico producto de sus recursos mineros, teniendo en consideración que uno de los principales clientes de nuestra red serían los empleados de la mina Yanacocha, debido que esta empresa es el motor económico de la ciudad de Cajamarca y facilitaría la comercialización de los productos de nuestra red. Además, se debe tener en cuenta, que una adecuada planificación de la red, siguiendo los conceptos de ingeniería explicados en los capítulos posteriores, conlleva a la ejecución de la misma y posteriormente a la optimización mediante herramientas de testeo de la red a nivel usuario para lograr los principales indicadores de calidad, luego de la misma recién puede la red ser puesta en servicio comercial. Cabe destacar que el presente proyecto sólo comprende la primera etapa descrita, y asimismo trasciende al área de implementación, por lo que, bajo los esquemas detallados en los siguientes capítulos puede servir de base para la planificación de la red en estudio en cualquier región o ciudad.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
MARCO TEORICO	3
1.1 Desarrollo de la Telefonía Móvil	3
1.1.1 Redes de Primera Generación	3
1.1.2 Redes de Segunda Generación	4
1.1.3 Redes de Tercera Generación.....	5
1.2 Estructura de la Red UMTS	7
1.2.1 UE – Equipo de Usuario.....	7
1.2.2 UTRAN - Red de Acceso a la Red UMTS.....	7
1.2.3 CN - Núcleo de Red	8
1.3 Descripción de la Tecnología WCDMA	9
1.3.1 Receptor RAKE.....	10
1.3.2 Sistema de Comunicación WCDMA	10
1.3.3 Canales Lógicos, de Transporte y Físico.....	15
1.4 Descripción de la Tecnología HSPA.....	17
1.4.1 HSDPA – Acceso de Paquetes para Downlink de Alta Velocidad	17
1.4.2 HSUPA – Acceso de Paquete para Uplink de Alta Velocidad.....	20
1.5 Servicios a ser brindados bajo la arquitectura UMTS – HSPA.....	22
1.6 Productos Disponibles en el Perú.....	23
1.6.1 Terminales HSPA.....	24
CAPITULO II	
EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DEL SERVICIO EN EL AREA DE	
ESTUDIO	26
2.1 Estudio Poblacional de la Ciudad de Cajamarca.....	26
2.2 Perfil del Usuario.....	28
2.3 Estudio de la Población Económicamente Activa.....	29
2.4 Utilización de los Servicios de Telecomunicaciones en la ciudad de Cajamarca.....	32

2.5	Minera Yanacocha.....	32
2.6	Determinación de la Demanda y Planes de Servicio Final al Usuario.....	33
CAPITULO III		
PLANIFICACIÓN DE LA RED.....		
3.1	Preparación.....	39
3.2	Pre-Planificación.....	39
3.3	Planificación Nominal.....	40
3.3.1	Modelos de Propagación.....	40
3.3.2	Parámetros de Radiofrecuencia.....	43
3.3.3	Cálculo de la pérdida de Propagación.....	44
3.3.4	Cálculo del radio y área de cobertura.....	48
3.3.5	Cálculo del número de Nodos B.....	61
3.4	Diseño Final a nivel de Radio Frecuencia.....	65
3.4.1	Dimensionamiento del Tráfico de los Nodos B.....	65
3.4.2	Dimensionamiento de la capacidad de la celda.....	68
3.4.3	Dimensionamiento de los Elementos de Canal – CE.....	75
3.4.4	Dimensionamiento de la Red de Transporte – Interfaz Iub.....	79
3.4.5	Dimensionamiento de los Scrambling Codes.....	83
3.5	Diseño de la RNC y El Core.....	86
3.5.1	Dimensionamiento de la RNC.....	87
3.5.2	Dimensionamiento del Core.....	87
3.6	Especificaciones de los Equipos.....	88
3.6.1	Nodo B.....	88
3.6.2	RNC.....	90
3.6.3	Núcleo de Red.....	91
CAPITULO IV		
EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.....		
4.1	Costos de Inversión.....	92
4.2	Costos de Operación y Mantenimiento.....	93
4.3	Ingreso económico del proyecto.....	94
4.4	Evaluación Económica del Proyecto y recuperación del capital.....	95
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		
BIBLIOGRAFÍA.....		
		99

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la penetración del servicio de telecomunicaciones móviles en el Perú está bordeando la cifra del 80%, superior a cualquier otro servicio de telecomunicaciones, pero inferior a cifras correspondiente a países cercanos como Colombia o Chile, cuya penetración ha superado el 100%, esto nos demuestra que aún tenemos un gran mercado por incursionar.

No obstante, para atraer a este mercado, no basta con brindar servicios de voz ni velocidades de transferencia de datos muy limitadas, sino que el actual usuario requiere estar siempre conectado a Internet con altas de transferencia de datos lo cual es posible mediante una red HSPA que garantiza velocidades de hasta 14.76Mbps para descargas y de 5.72Mbps para cargas, brindando al usuario una amplia gama de aplicaciones que van desde el campo de la diversión hasta los negocios.

Ante esta necesidad, se ha realizado el presenta trabajo, que detalla la planificación de una red 3G Release 6 – bajo la tecnología HSPA, especialmente a nivel de RF (radiofrecuencia) en la banda de 1900MHz y se ha considerado a la ciudad de Cajamarca y a las zonas más importantes de extracción mineras de la región como área de estudio debido al gran desarrollo económico, industrial y minero de dicha región.

El presente informe consta de 4 capítulos, el primero detalla una breve descripción de la tecnología UMTS, HSDPA y HSUPA, sus principales características y ventajas, empezando desde los comienzos de la telefonía móvil hasta la actualidad, y nos muestra algunas aplicaciones con la que el usuario puede ser beneficiado.

En el segundo capítulo se realiza un estudio socio-económico sobre la ciudad de Cajamarca, analizando el perfil del usuario y sus necesidades para finalmente proponer distintos planes para satisfacer los requerimientos de cada potencial usuario a un precio acorde a sus posibilidades

El tercer capítulo es el cuerpo del trabajo, donde se detalla los pasos a seguir para la realización de la planificación de la red. Estos procedimientos pueden ser tomados como base para futuras redes en otras localidades donde la variable sería el número de usuarios. Se ha considerado trabajar en la banda de 1900MHz debido que en la actualidad el Estado

Peruano se encuentra licitando parte del espectro de la banda y éste proyecto puede ser de gran utilidad para el futuro operador. Por otro lado, este diseño se basa principalmente a nivel de RF, debido que como se explica en el capítulo, se considera que el propietario de la red se encontraría brindando el servicio de telefonía móvil en las principales ciudades del país por lo que el núcleo de la red ya ha sido instalado y sólo se requeriría acondicionarla para un mayor tráfico.

Luego de conocido cuales van a ser los recursos necesarios para brindar el servicio de HSPA, se contabilizan los costos y los ingresos para luego obtener el margen de rentabilidad del proyecto a través del tiempo.

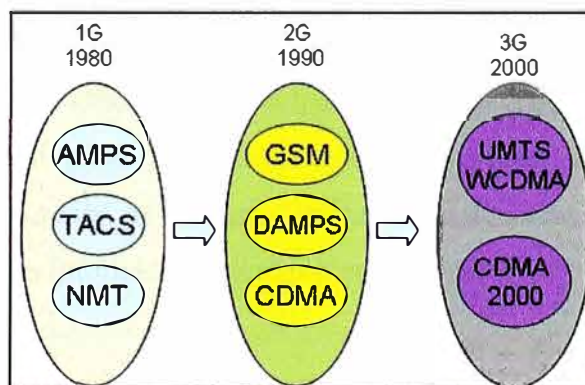
Finalmente, se presenta algunas conclusiones y se sugiere tomar en cuenta las recomendaciones mostradas luego de realizado el proyecto.

CAPITULO I MARCO TEORICO

1.1 Desarrollo de la Telefonía Móvil

El sistema de telefonía celular ha ido evolucionando para satisfacer las necesidades requeridas por los usuarios. El primer antecedente del uso de esta tecnología se registra en la década del 1940, cuando se instaló un sistema de teléfonos en una flota de autos en la ciudad de St Louis – Estados Unidos, el cual utilizaba el sistema push-to talk para la comunicación entre los usuarios.

Posteriormente, en la década de 1960 se instaló el Sistema Mejorado de Telefonía Móvil – IMTS. Éste sistema ya contaba con dos frecuencias, una para enviar y otra para recibir, el cual le otorgaba una característica adicional comparado al sistema diseñado en la ciudad de St Louis. Además, ambos sistemas utilizaban un transmisor de alta potencia (200 watts) el cual obligaba que los sistemas adyacentes debieran estar muy alejados para evitar la interferencia, limitando la capacidad de la red.



Elaboración propia

Figura 1.1 Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles

1.1.1 Redes de Primera Generación

Entre los años 1970 hasta 1980 se desarrollaron las redes celulares de primera generación impulsadas por los Laboratorios Bell. Estos sistemas se diferenciaron de sus antecesores porque diseñaban la red celular basadas en celdas para implementar el reuso de frecuencia

y por consiguiente aumentar la capacidad del sistema. Los sistemas de primera generación más comunes han sido:

El sistema AMPS - Sistema Avanzado de Telefonía Móvil. Desarrollado en los Estados Unidos, utiliza la banda de 800MHz para la transmisión del sistema analógico celular y fue ampliamente utilizada en éste país y en Sudamérica;

El sistema TACS – Sistema de Comunicación de Acceso Total. Utilizado en Inglaterra, Japón y otros países asiáticos, usa la banda de 900MHz para la comunicación entre usuarios;

El sistema NMT – Telefonía Móvil Nórdica. Utilizado en países nórdicos, utiliza las bandas de 450MHz y 900MHz.

Las principales características de los sistemas móviles de primera generación es que ellos utilizan la tecnología del reuso de frecuencia, adoptan la modulación analógica para las señales de voz y usan canales de 30KHz o 25KHz para la transmisión de la misma. No obstante, el alto costo y volumen de los terminales, los limitados servicios que ofrecía (no pueden brindar servicios de datos de alta velocidad), y la pobre utilización del espectro de frecuencia, fueron motivos más que necesarios para que las empresas y los organismos competentes empezaran a desarrollar otros sistemas que mejoraran estas deficiencias.

1.1.2 Redes de Segunda Generación

Debido a los motivos explicados en el capítulo anterior emergieron los sistemas móviles de segunda generación a mediados de los años 1980, siendo su principal característica el uso de la modulación digital para la transmisión de la señal de radiofrecuencia. A continuación se detalla brevemente los principales sistemas desarrollados:

GSM - Sistema Global para las Comunicaciones Móviles. Desarrollado en Europa, soporta una tasa de transmisión de 64kbps. Utiliza las técnicas de duplexación por división de frecuencias y el acceso múltiple por división en el tiempo para soportar ocho canales en cada portadora de 200KHz;

DAMPS - Sistema Avanzado de Telefonía Móvil Digital – en sus dos versiones IS -54 y IS -136. Ampliamente utilizado en los Estados Unidos, fue desarrollado con la intención que coexistiera con AMPS, para que los teléfonos de primera y segunda generación pudieran funcionar de manera simultánea en la misma celda. Utiliza la banda de 800MHz y 1900MHz, y usa la técnica de acceso múltiple por división en el tiempo para soportar hasta 3 usuarios por cada portadora de 30kHz;

CDMA IS-95 – Acceso Múltiple por División de Código. Este sistema fue desarrollado en los Estados Unidos y a diferencia de los anteriores utiliza la técnica de CDMA, el cual permite que cada estación terminal transmita todo el tiempo a través de todo el espectro de frecuencia usando la teoría de codificación para separar múltiples transmisiones simultáneas.

1.1.3 Redes de Tercera Generación

Posteriormente, a medida que las necesidades de los usuarios requerían transmisiones de datos a mayores velocidades de las suministradas por los sistemas de segunda generación, se desarrollaron redes como GPRS, EDGE y IS-95B que incrementaron dichas velocidades a tasas de hasta 384Kbps; sin embargo, el constante desarrollo de las comunicaciones multimedia y de datos requieren de redes de mayores velocidades que puedan proveer diferentes tipos de calidad de servicio, por lo cual la ITU en el año 1992 diseñó el IMT-2000 (Telecomunicaciones Móviles Internacionales) para desarrollar el sistema móvil de tercera generación.

Se denominó IMT-2000 por tres razones esenciales: era el año que debería funcionar, era la frecuencia con la cual debería trabajar y era la tasa de velocidad que el servicio debería de ofrecer.

Las principales redes móviles de tercera generación incluían los sistemas WCDMA, CDMA2000 y TD-SCDMA. El primero fue propuesto por la empresa Ericsson. Éste sistema utiliza el espectro disperso de secuencia directa en una banda ancha de 5MHz y fue diseñado para interactuar con redes GSM, mientras que el segundo, CDMA2000, fue propuesto por Qualcomm y utiliza un ancho de banda de 5MHz pero no ha sido diseñado para interactuar con GSM sino que fuera compatible con el sistema CDMA IS-95. Ambos sistemas difieren en la tasa de chips, longitud de trama, espectro de frecuencia y en la sincronización de tiempo.

En general, los sistemas de tercera generación tienen como objetivos básicos lo siguiente: Uso de una banda de frecuencia universal para tener una cobertura estándar y facilitar el uso de los terminales en cualquier parte del mundo con el servicio de roaming global; alta eficiencia espectral en la utilización del ancho de banda para ofrecer una amplia capacidad en la red; capacidad para interconectarse a otros tipos de redes; Arquitectura abierta y de estructura modular para que pueda ser suministrado por distintos proveedores y facilite la expansión e integración de la red.; Suministrar una alta calidad de servicio, confiable y segura; Una fácil transición de 2G a 3G, siendo compatible con las redes 2G

existentes; Otorgar servicios diversificados con distintas calidades de servicios según la necesidad del usuario como por ejemplo servicio de voz, servicio de datos con tasas de transmisión variables, servicio de videollamada y servicios de multimedia; y Proveer servicios multimedia con diferentes tasas de transmisión, por ejemplo:

Para entornos de alta movilidad (vehículos en movimiento): 144Kbps

Para entornos de baja movilidad (personas en movimiento): 384Kbps

Para entornos de cobertura interna: 2Mbps

Las bandas de frecuencia actualmente utilizadas para el desarrollo de las redes móviles de tercera generación son:

Tabla 1.1 Bandas de frecuencia para redes 3G

Banda utilizada	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Zona donde es utilizada
	1920 - 1980	2110 - 2170	Europa
1850 - 1910	1930 - 1990	USA	
1710 - 1785	1805 - 1880	Japon	
890 - 915	935 - 960	Australia	

Elaboración propia

Como se observa, el sistema WCDMA en las redes europeas utiliza el siguiente espectro de frecuencia: para el enlace de subida (uplink) utiliza la banda de 1920MHz – 1980MHz y para el enlace de bajada (downlink) utiliza la banda de 2110MHz – 2170MHz, cada portadora tiene un ancho de banda de 5MHz y el espacio entre en uplink y el downlink es de 190MHz, esto difiere en las redes desarrolladas en Estados Unidos donde el espectro de frecuencia es como se muestra en la Tabla 1.1 siendo el espacio entre el uplink y downlink de 80MHz, este último diseño es el que actualmente se desarrolla en nuestro país.

Para la configuración en los equipos de la red (RNC), se ingresa el UARFCN - Número de Canal de Frecuencia Absoluta de Radio UTRA – para la identificación de la banda a utilizar, éste parámetro esta relacionado con la portadora bajo la siguiente fórmula:

$$UARFCN = 5 \times (\text{Frecuencia en MHz} - 1850.1\text{MHz}); \text{ para la banda PCS} \dots (1.1)$$

$$UARFCN = 5 \times (\text{Frecuencia en MHz}); \text{ para los demás casos} \dots (1.2)$$

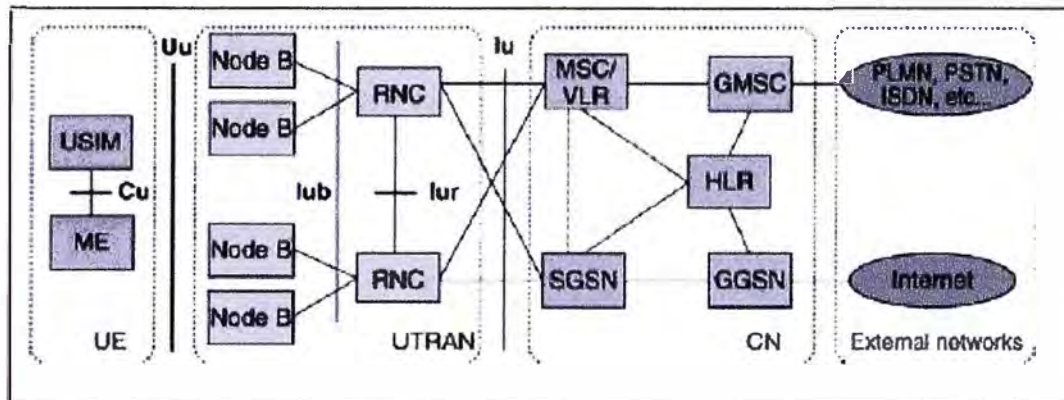
1.2 Estructura de la Red UMTS

El sistema UMTS consiste de elementos de red que se caracterizan de acuerdo a su funcionalidad. Dichos elementos de red se pueden agrupar dentro de la Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS (UTRAN) o dentro del Núcleo de Red (CN). El primero administra todo lo relacionado con la interfaz de acceso al usuario (interfaz de radio), mientras el

segundo se encarga de conmutar y enrutar las llamadas de voz y conexiones de datos hacia redes externas.

Adicionalmente, se debe de considerar el Equipo de Usuario (UE), el cual es el encargado de conectar al usuario con la red de acceso del sistema UMTS.

En el esquema a continuación se observa el esquema lógico de una Red UMTS.



Fuente: WCDMA for UMTS – John Wiley

Figura 1.2 Estructura de la Red UMTS – Release 99

A continuación se detallará las características de cada elemento de red mostrado en la Figura 1.2

1.2.1 UE – Equipo de Usuario

El equipo de usuario consiste de las siguientes partes:

ME – Equipo del Móvil. Es el terminal de radio usado para comunicación sobre la interfaz Uu.

USIM - Módulo de Subscriptor de UMTS. Es un dispositivo que guarda la identidad del suscriptor, algoritmos de autenticación y claves de encriptación.

1.2.2 UTRAN - Red de Acceso a la Red UMTS

La red de Acceso consiste de uno o más Subsistemas de Red de Radio que se conectan al Núcleo de Red a través de la interfaz Iu y al usuario a través de la interfaz Uu. Un subsistema de Red de Radio consiste de un RNC y uno o más Nodos B.

RNC – Controlador de la Red de Radio. Es el elemento de red encargado de controlar y administrar todos los recursos de radio pertenecientes a su dominio, es decir a los Nodos B conectados a él. Adicionalmente el RNC es el punto de acceso para todos los servicios que provee la UTRAN al CN (Núcleo de Red) conectándose a esta a través de la interfaz Iu. Sus funciones son similares a las desarrolladas por BSC (Controlador de Estaciones Base)

en una red GSM. La interfaz lógica entre dos RNCs se le denomina interfaz Iur. El RNC se conecta con el MSC mediante la interfaz IuCs o con un SGSN mediante la interfaz IuPs.

Nodo B. Es el elemento de red encargado de convertir el flujo de datos entre la interfaz Iub y Uu. Se conecta a la RNC a través de la interfaz Iub. Además, junto con el RNC participa en la administración de los recursos de radio. Sus funciones son similares a las desarrolladas por la Estación Base en una red GSM.

1.2.3 CN - Núcleo de Red

El Núcleo de Red está constituido por dos dominios que son la Conmutación de Circuitos - CS y la Conmutación de Paquetes – PS. Los dos dominios difieren por la manera que ellos soportan el tráfico del usuario. Asimismo estos dominios pueden contener algunas entidades comunes, por lo cual el operador puede implementar solo en un dominio o en ambos.

Dominio de Conmutación de Circuitos. Se refiere a todas las entidades que realizan funciones para el establecimiento y liberación de “recursos dedicados” de la red con la finalidad de transmitir la señalización y el tráfico del usuario. A este tipo de conexión se le denomina conexión tipo CS. Entre las entidades que pertenecen a este dominio tenemos: MSC, GMSC, VLR y el MGW.

Dominio de Conmutación de Paquetes. En este dominio se ofrece el tipo de conexión PS, el cual transporta información del usuario usando una concatenación autónoma de bits llamado paquetes y cada paquete puede ser enrutado independientemente del paquete anterior. Es decir no se dedican recursos de la red para dicha transmisión. Todas las entidades que trabajen para ofrecer este tipo de conexión se encuentra dentro del dominio de conmutación de paquetes Entre las entidades que pertenecen a este dominio tenemos : SGSN y GGSN

A continuación una breve definición de las principales entidades que componen el Núcleo de Red:

HLR - Registro de Ubicación de Casa. Entidad encargada de guardar una copia del perfil del usuario, tales como los servicios permitidos , las áreas prohibidas de roaming y otra información suplementaria, adicionalmente provee soporte a las entidades del dominio de PS tales como el SGSN y GGSN, a través de las interfaces Gr y Gc; y servicios a las entidades del dominio de CS tales como el MSC/ servidor MSC y GMSC/ servidor GMSC a través de las interfaces C y D.

AuC - Centro de Autenticación. Entidad generalmente ubicada dentro del MSC, contiene una base de datos que permite la identificación internacional de abonados móviles para realizar los procesos de autenticación y cifrado de la comunicación sobre la interfaz de radio entre el UE y la red. El AuC se comunica con el HLR a través de la interfaz H.

VLR - Registro de Ubicación del Visitante. Es una base de datos que contiene información necesaria para administrar las llamadas inicializadas o recibidas por el UE registrado. Generalmente ubicada dentro del MSC.

MSC - Centro de Conmutación Móvil. El MSC constituye la entidad fundamental de una red basada dentro del dominio de conmutación de circuitos. Realiza todas las funciones necesarias para administrar un servicio conmutado de circuito desde y hacia los terminales. Se conecta a la UTRAN mediante la interfaz IuCS. A partir del Release 4 se adicionó una entidad denominada MGW (Media Gateway) para liberar al MSC de la función de adaptación de señal.

GMSC - Servidor MSC. Esta entidad es responsable del control de llamada originada y terminada dentro del dominio CS. Punto de interconexión a otras redes.

SGSN - Nodo Soporte de Servidor GPRS. Es la entidad principal dentro del dominio de conmutación de paquetes. El SGSN se encarga de almacenar la información necesaria del suscriptor para administrar el inicio o fin de la transferencia de paquetes de datos. Se conecta con la UTRAN mediante la interfaz Iu-Ps y con el GSM-BSS mediante la interfaz Gb.

GGSN - Nodo Soporte de Pasarela GPRS. Sirve para la interconexión de la red conmutada de paquetes de datos hacia otras redes externas.

1.3 Descripción de la Tecnología WCDMA

De acuerdo a lo mencionado en el capítulo 1.1.3 , la tecnología WCDMA utiliza la técnica de Acceso Múltiple por División de Códigos para el uso del espectro asignado, teniendo la posibilidad de operar del modo: FDD (Duplexación de Frecuencia), el cual utiliza una frecuencia para la transmisión de enlace de subida y otra frecuencia para la transmisión de enlace de bajada, ambas con un ancho de banda de 5MHz y separadas por un espacio que varía entre 134.8 MHz y 245.2MHz; o TDD (Duplexación en el Tiempo), éste método utiliza la misma portadora para el enlace de subida como para el enlace de bajada, espaciándolas en intervalos de tiempo sincronizados, igual que el FDD el ancho de banda de la portadora es de 5MHz, no obstante la tasa de chip es inferior a lo propuesto por el 3GPP (1.28Mcps), motivo por el cual, el diseño de la red va utilizar el método FDD.

En conclusión tenemos que las principales características de la tecnología WCDMA son las siguientes:

Reuso de frecuencia: 1, debido que todos los usuarios transmiten en la misma frecuencia.

Ancho de banda de la portadora: 5MHz.

Tasa de chip: 3.84 Mcps.

Longitud de la trama: 10ms divididos en 15 ranuras de tiempo.

TTI - Tiempo de Intervalo de Transmisión: Puede tomar valores de 10ms, 20ms, 40ms, y 80ms de acuerdo al tipo de transmisión (voz o datos).

Codificación de la Voz: AMR (Multi-tasa Adaptativa).

Modulación en el downlink y uplink: QPSK

Demodulación coherente ayudando a incrementar la capacidad en el uplink.

Control de potencia a una tasa de 1500Hz para incrementar la capacidad y evitar la interferencia.

Movilidad a través del Soft Handover, permitiendo al UE estar en comunicación simultánea con mas de una celda, evitando la caída de llamadas y mejorando la calidad de la señal.

Soporta operación síncrona y asíncrona del Nodo B.

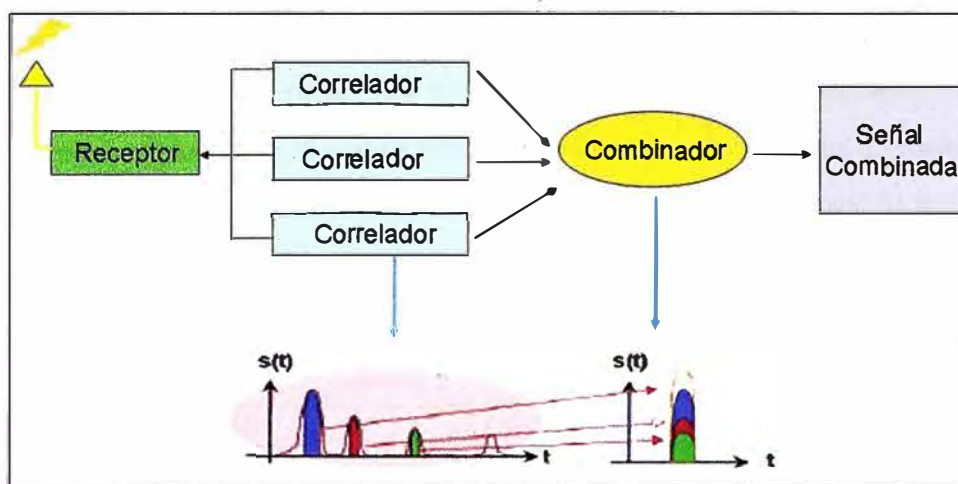
Compatibilidad con el núcleo de la red GSM.

Soporta el modo de diversidad de transmisión de lazo abierto y lazo cerrado.

Alta ganancia de procesamiento durante el proceso de ensanchamiento de la señal.

1.3.1 Receptor RAKE

Una de las técnicas utilizadas en WCDMA es el receptor Rake, el cual consiste en utilizar diversos “correladores” de banda base para procesar las componentes de la señal distorsionadas por el multi-trayecto. La salida de los diferentes brazos son combinados para alcanzar la fiabilidad y rendimiento en la red. Esta técnica es utilizada en el UE y para ello cada UE contiene un receptor Rake en su interior.

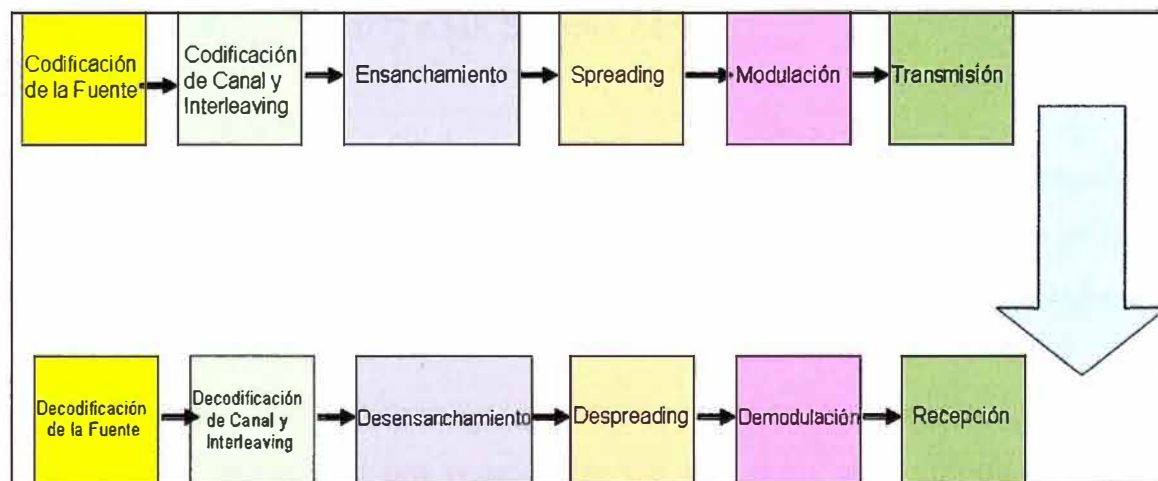


Elaboración propia

Figura 1.3 Receptor Rake

1.3.2 Sistema de Comunicación WCDMA

El Sistema de Comunicación de una red UMTS se puede esquematizar bajo el siguiente diagrama de bloques, el cual sólo representa la transmisión y recepción de la señal realizado tanto por el UE como por la red de acceso.



Fuente: Huawei – Adaptación propia

Figura 1.4 Diagrama de bloques del sistema de comunicación WCDMA

a) Codificación de la Fuente

Mediante la codificación de la fuente se incrementa la eficiencia de transmisión, para ello, se utiliza la Codificación Multi-tasa Adaptativa (AMR) para codificar la voz, la cual permite codificar la voz en ocho códigos con diferentes velocidades de transmisión dependiendo de la carga de la celda; es decir, si la carga incrementa, el sistema decrece la tasa de transmisión para soportar mayor cantidad de usuarios.

Además la técnica AMR ofrece la posibilidad de adaptar el esquema de codificación de acuerdo a las condiciones de radio; por ejemplo, si las condiciones de radio son óptimas entonces el sistema selecciona el codificador que provee la más alta tasa de transmisión, en caso contrario, el codificador más robusto es seleccionado el cual provee la menor tasa de transmisión.

Tabla 1.2 Códigos AMR

Codec mode	Source codec bit-rate
AMR_12.20	12,20 kbit/s (GSM EFR)
AMR_10.20	10,20 kbit/s
AMR_7.95	7,95 kbit/s
AMR_7.40	7,40 kbit/s (IS-641)
AMR_6.70	6,70 kbit/s (PDC-EFR)
AMR_5.90	5,90 kbit/s
AMR_5.15	5,15 kbit/s
AMR_4.75	4,75 kbit/s
AMR_SID	1,80 kbit/s (see note 1)

Fuente: 3GPP TS26.071 AMR Speech Codec

b) Codificación de Canal

El propósito de la codificación de canal es aplicar técnicas de corrección de error con la finalidad que la señal recibida sea recuperada corrigiendo los errores que pudieran presentarse debido a la interferencia. La codificación de canal incluye los métodos de convolución e interleaving.

La convolución es utilizada para que el sistema soporte la interferencia. A través de esta tecnología, una cantidad de bits redundantes son agregados en la información original, cuando el error es causado por la interferencia, los bits redundantes pueden ser usados para recuperar la información original. En WCDMA se utilizan los códigos convolucionales y los turbos códigos. El primero se utiliza principalmente en los servicios de voz y de transferencia de datos a baja velocidad mientras que los turbos códigos son utilizada para la transferencia de datos a altas velocidades.

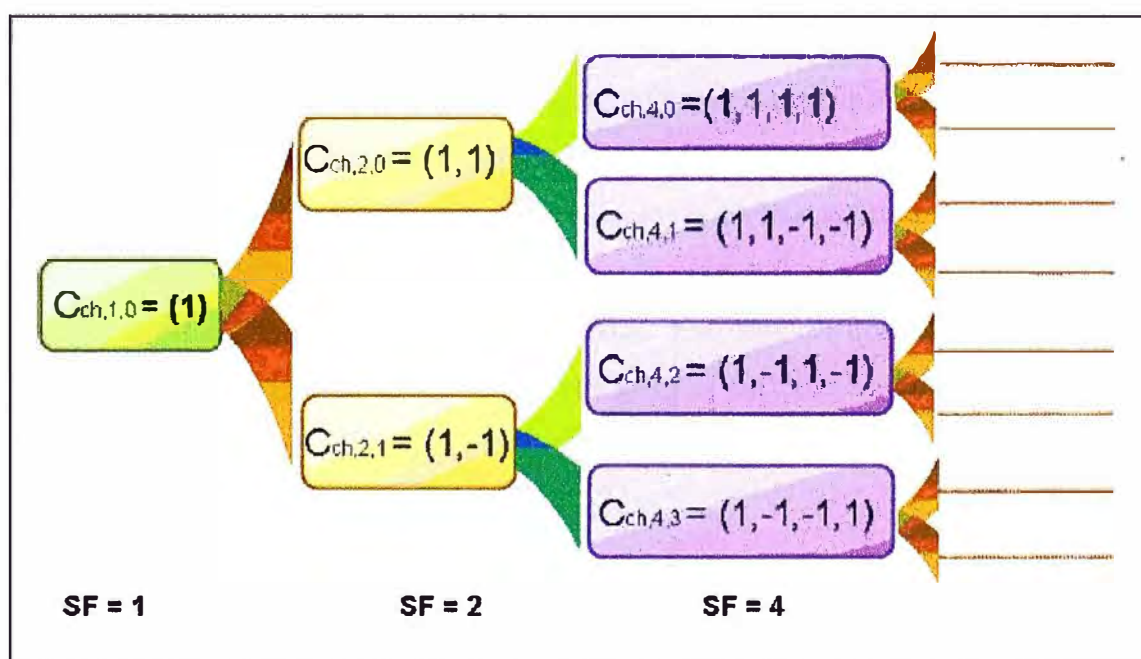
La técnica interleaving permite proteger la data contra el desvanecimiento por multi-trayecto y previene ráfagas de errores. Se utiliza el esquema de diversidad en el tiempo, donde los bits son separados en el tiempo antes que sean transmitidos en el aire, en conclusión no se transmiten cerca, uno tras otro, dos bits adyacentes.

c) Ensanchamiento

Este proceso permite aumentar el ancho de banda de la señal a transmitir al ancho de banda de la portadora, incrementando la tasa de transmisión como mínimo al doble de la tasa de velocidad de bits en banda base. Adicionalmente, le permite ser mas resistente a la interferencia e intentos de interceptación debido que el nivel de energía de la señal se difunde en todo el ancho de banda, esto es posible gracias al uso de los códigos ortogonales.

Durante el ensanchamiento, cada símbolo es multiplicado con todos los chips del código ortogonal asignado al usuario. La secuencia de bits resultante es procesada y transmitida sobre el canal físico con otras secuencias de bits ensanchadas. En el receptor se realiza similar proceso, se recupera la señal original multiplicando la señal recibida por el mismo código usado en el transmisor.

Los códigos ortogonales son aquellos que provienen de la matriz de Walsh (como se observa en la figura 1.5) y tienen la particularidad que no se interfieren unos con otros, no obstante para cumplir la ortogonalidad deben estar sincronizados en el tiempo, por tal motivo son útiles para separar usuarios dentro de una misma celda en el enlace de bajada y en el enlace de subida para separar servicios de un mismo usuario. Adicionalmente se observa que los códigos que pertenecen a la misma raíz del árbol de Walsh no son ortogonales, por lo cual estos códigos no pueden ser utilizados simultáneamente.



Elaboración propia

Figura 1.5 Códigos de Walsh

Los códigos de ensanchamiento son definidos como $C_{ch,SF,k}$, donde; SF es el factor de ensanchamiento del código el cual vendría a ser el número de chips por símbolo y corresponde a la longitud del nivel en el árbol de códigos mostrado en la figura 1.5 y k es la secuencia del código $0 \leq k \leq SF-1$. En WCDMA se utiliza el SF de 4 a 256 en el enlace de subida y de 4 a 512 para el enlace de bajada, por ejemplo para el servicio de voz (AMR a 12.2Kbps) en el enlace de bajada el SF es igual a 128 lo cual significa que como máximo la portadora puede soportar 128 servicios de voz simultáneos. En la tabla se puede observar otros ejemplos al respecto. Como se observa, se utilizan SF menores cuando se requiere tasas de transmisión mas elevadas.

Tabla 1.3 SF para diferentes servicios

SERVICIO	TASA DE TRANSMISIÓN	DOWNLINK SF	UPLINK SF
AMR	12.2 + 3.4	128	64
Modem 28.8k	28.8+3.4	64	32
64K PS	64+3.4	32	16
144K PS	144+ 3.4	16	8
384K PS	384+3.4	8	4

Fuente: Huawei – Adaptación propia

d) Scrambling

El proceso de scrambling se logra a través de los códigos de scrambling o códigos de pseudo ruido. Estos códigos se utilizan en el enlace de bajada para distinguir a la celda servidora a través del código de scrambling primario, mientras que en el enlace de subida se utiliza para identificar al UE a una celda específica. La propiedad de estos códigos es su auto correlación, por lo cual facilita la recuperación de la señal original en el receptor.

Para el enlace de subida se utilizan 2^{24} códigos largos y 2^{24} códigos cortos. Para el enlace de bajada se tienen 262,143 códigos scrambling, pero sólo se utilizan los códigos del 0 hasta el 8191, los cuales son divididos en 512 grupos, del cual, cada uno tiene un código scrambling primario y 15 códigos scrambling secundario. Para ambos casos la longitud del código scrambling es de 38400 chips.

e) Modulación

La modulación es el proceso por el cual los símbolos transmitidos multiplican a una portadora. La modulación utilizada en UTRAN para el Release 4 es el QPSK (Quaternary Phase Shift Keying), posteriormente para el Release 5 y Release 6 HSPA utiliza la

modulación 16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) para poder soportar tasas de transmisión mayores. La velocidad de modulación es de 3.84Mcps.

1.3.3 Canales Lógicos, de Transporte y Físico

En la interfaz de radio, WCDMA tiene tres tipos de canales: Canal Físico, Canal de Transporte y el Canal Lógico.

a) Canales Lógicos. Transporta los servicios directamente al usuario. Cada tipo de canal lógico es definido por el tipo de información a ser transferida. De acuerdo al tipo de servicio transportado se divide en:

Canales de Tráfico:

Canal de Tráfico Dedicado – DTCH. Canal bidireccional que transmite información dedicada entre el UE y la red, esta información puede ser voz o paquetes de datos.

Canal de Tráfico Común – CTCH. Canal de enlace de bajada punto a multipunto que transfiere información dedicada para todos o un grupo de usuarios por ejemplo mensajes BMC.

Canales de Control:

Canal de Control Broadcast – BCCH. Canal de enlace de bajada que transporta todos los tipos de información del sistema a todos los usuarios, por ejemplo el tipo de información de sistema 3 que contiene la identidad de la celda.

Canal de Control de Búsqueda – PCCH. Canal de enlace de bajada que transfiere información de búsqueda para alcanzar al UE.

Canal de Control Dedicado – DCCH. Canal bidireccional que transmite información de control dedicado entre un UE y la red, como por ejemplo, transporte de mensajería relacionada a los procedimientos de handover, búsqueda dedicada, actualización del active set y reporte de mediciones entre otros.

Canal de Control Común – CCCH. Canal bidireccional que transmite información de control entre la red y los UEs; por ejemplo, envía mensajes relacionados al requerimiento de la conexión RRC, actualización de la celda servidora entre otros. Este canal es parecido al DCCH, pero es usado cuando el UE aún no ha sido identificado por la red.

b) Canales de Transporte. Estos canales ofrecen servicios de la capa 1 a las capas superiores. Cada canal de transporte es descrito por las características de la data a ser transmitida. Se divide en canales dedicados y canales comunes dependiendo si la información transportada es información dedicada a un solo usuario o es información de control para todos los usuarios.

Canales Dedicados de Transporte:

Canal Dedicado – DCH. Canal bidireccional dedicado para un solo usuario. Contiene información de usuario o datos del servicio y de control de niveles superiores.

Canales Comunes de Transporte:

Canal Broadcast –BCH. Canal de enlace de bajada usado para enviar información del sistema a toda la cobertura de la celda. El UE debe de decodificar el BCH para acceder a la red.

Canal de Búsqueda – PCH. Canal de enlace de bajada que contiene información relacionada al procedimiento de búsqueda del UE cuando la red desea inicial comunicación con el terminal.

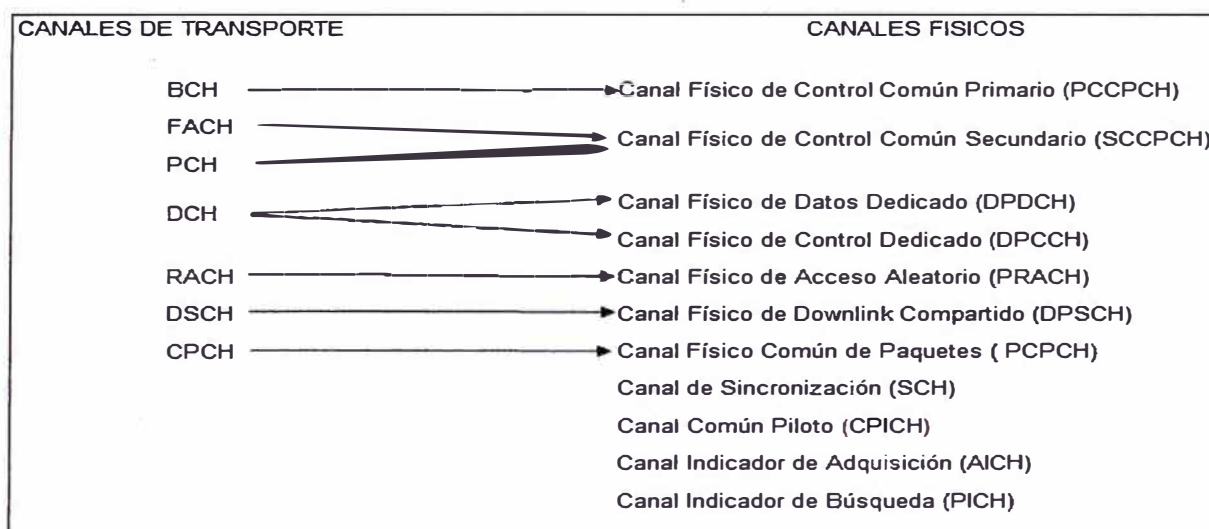
Canal de Acceso Aleatorio – RACH. Canal de enlace de subida utilizado para el acceso inicial del UE a la red o para transmisión de pequeñas cantidades de datos.

Canal de Acceso Provocado – FACH. Canal de enlace de bajada que contiene señalización dedicada en respuesta al mensaje enviado a través del RACH.

Canal Común de Subida de Paquete – CPCH. Canal de enlace de subida, contiene información de los usuarios y es una extensión del RACH.

Canal Compartido de Bajada - DSCH. Canal de enlace de bajada, contiene datos del usuario e información de control y es compartido por varios usuarios.

c) Canales Físicos. Son los canales que contienen la información a ser transmitidas por el interfaz de radio. Cada canal fisico contiene entre otros datos la frecuencia portadora, el código de ensanchamiento, el código scrambling y la fase de la portadora. Se transmiten en tramas de radio que tiene una longitud de 38400 chips y está compuesto por 15 ranuras de tiempo. Una sub-trama corresponde a tres ranuras de tiempo. La mayoría de los canales físicos se encuentran mapeados por canales de transportes cumpliendo similares funciones pero en niveles distintos. A continuación se muestran los canales físicos más importantes.



Elaboración propia

Figura 1.6 Mapeo de Canales de Transporte a Canales Físicos

Como se puede observar hay canales físicos que transportan solo información relevante al nivel de la capa física, éstos son:

Canal de Sincronización – SCH. Contiene información correspondiente a la búsqueda de la celda. Hay canales primarios y secundarios.

Canal Piloto Común – CPICH. Usado para la detección coherente de los canales comunes. Se cuenta con canales primarios y secundarios los cuales difieren en su uso.

Canal de Indicación de Adquisición –AICH. Es utilizado para informar al UE que la red ha recibido el requerimiento de acceso.

1.4 Descripción de la Tecnología HSPA

De acuerdo a las nuevas necesidades de los usuarios, las tasas de transmisión alcanzadas por la red UMTS Release 99 eran insuficientes, esto motivó que la 3GPP mediante el Release 5 diseñara la técnica HSDPA, la cual puede alcanzar velocidades de hasta 14.76 Mbps para el downlink, no obstante, aún se mantenía la velocidad de transmisión de datos para el uplink a 384kbps, escenario que fue modificado a partir del Release 6 con la tecnología HSUPA logrando velocidades en el enlace de subida hasta 5.72 Mbps.

Ambas tecnologías utilizan similares criterios y técnicas para alcanzar dichas velocidades, no presentando mayores modificaciones en la arquitectura diseñada para el Release 4 (el enlace de transporte es a través de IP). Los cambios son a nivel de software y actualización de licencias en los equipos de la red de acceso.

1.4.1 HSDPA – Acceso de Paquetes para Downlink de Alta Velocidad

La tecnología HSDPA fue introducida en el Release 5. La arquitectura de red es similar a la arquitectura diseñada para el Release 4, no obstante la variación radica en las técnicas de

corrección de errores, modulación, adaptación de los códigos a ser utilizados y multiplexación de los códigos a través de nuevos canales de tráfico.

A continuación una breve descripción de los principios donde se basa la tecnología HSDPA.

Utiliza la modulación 16QAM para incrementar la tasa de transmisión; sin embargo, para condiciones de radio no favorables, aún se mantiene el uso de la modulación QPSK pero con una tasa de transmisión inferior. A ésta característica de soportar ambas modulaciones se le denomina Modulación Adaptativa.

Se utiliza canales compartidos para la transmisión de datos a través del uso de la multiplexación de códigos con un factor de ensanchamiento fijo SF=16, donde los recursos son compartidos en el dominio del tiempo y de código.

El TTI - Intervalo de tiempo de transmisión- es 2mseg (menor que el utilizado en el Release 99) para incrementar la velocidad de retransmisión, adaptación del enlace y adaptación de la reprogramación rápida.

La técnica de reprogramación rápida (Fast Scheduling) selecciona al usuario entre los demás que comparte el enlace, con las mejores condiciones de radio.

Soporta una rápida adaptación del enlace ante cambios en las condiciones de radio.

La técnica de HARQ – Petición de Repetición Automática Híbrida - permite la retransmisión de paquetes erróneos de una manera más eficiente que la realizada para el Release 99.

Permite la asignación dinámica de potencia.

No soporta el soft- handover, sólo puede tener un enlace activo en el active set.

a) Técnicas de HSDPA: AMC, HARQ, Reprogramación rápida y CDM-TDM

AMC - Modulación y Codificación Adaptativa. Técnica utilizada por HSDPA para adaptar la tasa de codificación de canal, la tasa de transmisión de datos y el esquema de modulación de acuerdo a las condiciones de radio que reporte el UE a través del indicador CQI (Indicador de la calidad del canal). Un mayor CQI significa que las condiciones de radio son favorables obteniendo mayores tasas de transmisión. En conclusión se tendrán los siguientes escenarios.

Buenas condiciones de canal: Tasa de codificación 3/4, Modulación 16QAM y tasas de transmisión elevadas.

Malas condiciones de canal: Tasa de codificación 1/3, modulación QPSK y tasas de transmisión menores.

HARQ – Petición de Repetición Automática Híbrida. Para el Release 99 si se presenta errores en los bloques decodificados por el receptor se utiliza la técnica ARQ el cual consiste que el receptor descarta el bloque que contiene el error y solicita al transmisor la retransmisión del bloque erróneo hasta recibir correctamente la data reemplazando al bloque errado. En cambio para HSDPA, el receptor guarda el bloque que contiene error sin descartarlo, solicita al transmisor la retransmisión del bloque errado y cuando reciba el nuevo paquete lo combina con el bloque transmitido previamente (el que contenía error) para obtener el bloque libre de error, reduciendo la tasa de errores para la retransmisión. A éste tipo de técnica de combinación se le denomina Soft- Combinig, en cambio, si el bloque retransmitido contiene información redundante que no ha sido transmitido en el bloque anterior para mejorar la decodificación libre de errores, se le denomina Redundancia Incremental IR.

Fast Scheduling – Reprogramación rápida. Esta técnica permite decidir hacia que terminal será transmitido la información basado entre otras cosas:

Condiciones de Canal: Si el usuario presenta buenas condiciones de radio (se encuentra cerca del Nodo B) la red puede brindarle mayores tasas de transmisión que otro usuario que se encuentra en zonas de baja cobertura o con condiciones de radio desfavorables.

Retardo: Dependiendo de la información a ser enviada, la red puede organizar la cantidad de datos en espera por cada usuario.

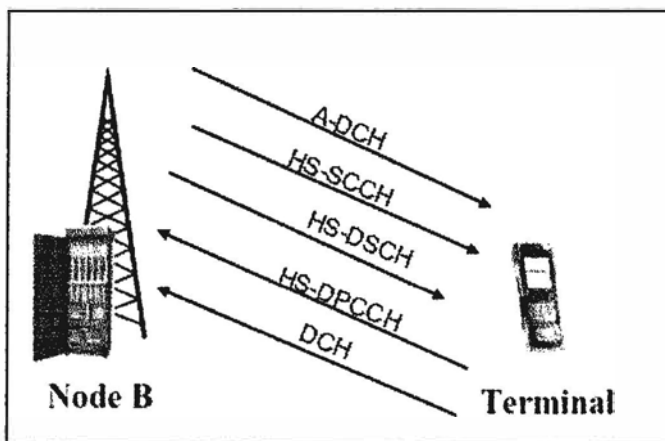
Satisfacción del usuario: Dependiendo del perfil del usuario, la red le brinda una determinada tasa de transmisión

Velocidad de la celda: Dependiendo la configuración de la celda y la capacidad de la misma.

Transmisión por Canal Compartido. Mediante el canal HS-DSCH y las técnicas de Multiplexación por División de Códigos – CDM y Multiplexación por División de Tiempo – TDM permite al usuario hacer uso de hasta 15 códigos ortogonales con SF = 16 en un mismo TTI para alcanzar altas velocidades de transmisión para downlink. Por cada código utilizado incrementa la velocidad a 960Kbps.

b) Canales de HSDPA

Los siguientes canales son utilizados por HSDPA para soportar las altas velocidades de transmisión.



Fuente: HSDPA, HSUPA for UMTS – John Wiley – Adaptación propia
 Figura 1.7 Canales de HSDPA

- **HS-DSCH - Canal Compartido para Downlink de Alta Velocidad.** Es un canal de transporte para downlink que permite compartir dinámicamente los recursos de códigos disponibles para el enlace de bajada por un grupo de usuarios, para llegar a altas tasas de transmisión. Un máximo de 15 códigos de canalización con $SF = 16$ pueden ser usados por este canal. Los números de códigos a ser utilizados por cada celda son configurados en la RNC de acuerdo a los recursos necesarios para los servicios requeridos.
- **HS-SCCH - Canal de Control Compartido de Alta Velocidad.** Es un canal físico para el enlace de bajada y tiene una tasa de transmisión de 60Kbps con un $SF = 128$, el cual contiene información de señalización relacionado a la transmisión del HS-DSCH, como información de los códigos a ser utilizados.
- **HS-DPCCH - Canal de Control Físico Dedicado de Alta Velocidad.** Es un canal físico de control para el enlace de subida, el cual contiene la información correspondiente al CQI.
- **DCH - Canal Dedicado.** Es el canal de transporte utilizado en el Release 4 y se usa para el transporte de datos en el enlace de subida, es decir que HSDPA para el envío de datos en el enlace de subida utiliza las mismas técnicas y velocidades que las especificadas para WCDMA.

1.4.2 HSUPA – Acceso de Paquete para Uplink de Alta Velocidad

Las técnicas que permiten el desarrollo de HSUPA se encuentra explicado en el Release 6 de la 3GPP. Para lograr las altas tasas de transmisión para el enlace de subida, hasta 5.72 Mbps, se modifican algunas características y se agregan canales de transporte y físicos. En conclusión, si para Release 99 se tenía el canal de transporte DCH para el transporte del tráfico en ambos sentidos y para HSDPA se contaba con el canal HS-DCH para la transmisión del mismo en downlink, para HSUPA el tráfico en uplink va a ser canalizado por el canal de transporte E-DCH el cual se va a diferenciar de los anteriores de acuerdo a las siguientes características descritas en la tabla siguiente.

Tabla 1.4 Comparación entre los canales de transporte de Release 99, HSDPA, HSUPA

CARACTERÍSTICA	DCH (Release 99)	HS-DSCH (HSDPA)	E-DCH (HSUPA)
Factor de ensanchamiento variable	SI	NO	SI
Modulación Adaptativa - AMC	NO	SI	NO
Programación rápida por la BTS (Fast scheduling)	NO	SI	SI
HARQ	NO	SI	SI
Soft Handover	SI	NO	SI
Longitud del TTI (mseg)	80, 40, 20, 10	2	10, 2

Fuente: HSDPA, HSUPA for UMTS – John Wiley – Adaptación propia

Adicionalmente al canal E-DCH, también son agregados los canales de downlink E-AGCH, E-RGCH y E-HICH, los dos primeros proveen información al UE para la realización de la técnica de programación rápida (envían valores de orden y comandos respectivos) mientras que el último envía información relacionada al HARQ hacia el UE.

La técnica de HARQ se realiza de manera similar al explicado para HSDPA, no obstante el sentido de dirección varía, por lo cual el buffer es ahora mantenido por el nodo B en vez del terminal. La principal diferencia es la necesidad del sincronismo con HSUPA para que el UE conozca que proceso HARQ esta ocurriendo en ese momento.

El canal E-DCH se mapea en los canales físicos E-DPDCH y E-DPCCH para la transmisión de datos de usuario y control respectivamente. La principal característica es que E-DPDCH soporta un factor de ensanchamiento $SF = 2$, el cual permite llevar el doble de información comparado con el mínimo factor de ensanchamiento que soporta DPDCH para Release 99. Además para llegar a la tasa máxima de transmisión (5.76Mbps) E-DPDCH soporta simultáneamente dos $SF = 2$ y dos $SF = 4$. Al igual que DPDCH, E-DPDCH soporta factores de ensanchamiento de 256, 128, 64, 32, 8, 4. Por esta característica se dice que HSUPA soporta factores de ensanchamiento variable.

Como se puede observar en la tabla, HSUPA no soporta la modulación adaptativa, es decir no soporta otros esquemas de modulación aparte del BPSK. Esto es debido que para soportar esquemas de modulación mas complejas se requiere mayor energía por bit transmitido, lo cual se traduciría que todos los UEs transmitan con mayor potencia generando alta interferencia en la red. Para lograr las tasas de transmisión elevadas en uplink se transmite múltiples códigos paralelos usando la modulación BPSK.

La técnica de programación rápida es soportada por HSUPA, pero a diferencia de HSDPA, toma en cuenta la información acerca de la interferencia en el enlace de subida para evitar que la celda se sobrecargue. Al igual que en HSDPA, el nodo B es el encargado de realizar esta función.

Finalmente, otra de las características resaltantes de HSUPA es la longitud del TTI, a diferencia de HSDPA, HSUPA soporta un TTI de 2ms y 10ms. La razón es que cuando el UE se encuentra en condiciones de radio favorable (cerca al nodo B) utilizará un TTI de 2ms , mientras cuando el usuario se encuentre en el borde de cobertura de la celda servidora no es posible usar un TTI de 2ms debido que consume mucha potencia de transmisión en especial en el nodo B (para HSDPA se utilizaba canales compartidos en cambio para HSUPA se debe transmitir simultáneamente a diferentes usuarios información de señalización), en este caso se utiliza un TTI de 10ms pero la tasa de transmisión disminuye a valores inferiores de 2Mbps.

1.5 Servicios a ser brindados bajo la arquitectura UMTS - HSPA

De acuerdo a las elevadas tasas de transmisión ofrecidas bajo la arquitectura UMTS – HSPA Release 6, es posible brindar otras aplicaciones adicionales a la comunicación de voz. Entre estas aplicaciones tenemos:

Acceso Inalámbrico de Banda Ancha.- Es el principal servicio a ser brindado. El usuario a través de un tarjeta de datos configurado en su computadora portátil, podrá hacer uso de la misma para navegar por la red a altas tasas de transmisión tanto para descargar datos como para enviar archivos, en cualquier parte donde se cuente con cobertura y de manera inalámbrica.

Navegación por Internet.- Haciendo uso del WAP (Protocolo de Aplicación Inalámbrica) o del Navegador por Internet, el usuario es capaz de tener acceso a la información y entretenimiento en la red.

Descarga de Música y juegos en línea.- Uno de los usos mas frecuentes en el Internet es la descarga de música, esto será posible a través del celular de una manera interactiva por

la cual se podrá escuchar simultáneamente la música que se descargue. Además, los juegos en línea con otros usuarios se podrán realizar a través del terminal.

TV- Streaming.- Visualizar los programas de la TV a través del UE con una velocidad promedio de 100 Kbps vía MBMS (Multimedia Broadcast y Servicio Multicast) para la comodidad del usuario.

Compartición de Video en Tiempo Real.- El video puede ser compartido por diferentes usuarios a través de una simple llamada de voz.

Push-to-talk.- Servicio a ser brindado para competir con los servicios de comunicación directa, permite a los usuarios llamar a un grupo predefinido de usuarios con tan sólo presionar un botón

Weblog.- El usuario haciendo uso de la cámara de su equipo podrá actualizar su weblog de una manera casi instantánea haciendo uso de las altas de tasas de transmisión para el enlace de subida.

Push e-mail.- Permite que el servidor de correos envíe el asunto del e-mail y parte del contenido al terminal configurado tan pronto como el e-mail llegue al servidor, brindando al usuario la facilidad de estar conectado a su correo permanentemente.

1.6 Productos Disponibles en el Perú

En la actualidad las tres empresas operadoras que operan a nivel nacional brindan servicios de 3G a través del despliegue de una red UMTS. No obstante se diferencian por las tasas de transmisión a ser alcanzadas debido al Release donde se encuentra configurada su red.

La red 3G perteneciente a la empresa América Móvil del Perú – Claro, opera en la banda de 850MHz y tiene cobertura en la ciudad de Lima Metropolitana, Arequipa, Cuzco, Ica, Trujillo, Moquegua, Tacna, Piura y Chiclayo, entre otras ciudades. Su red soporta HSDPA y actualmente se encuentra en la actualización de su red para soportar HSUPA. Los principales servicios que brinda son la video-llamada y el acceso inalámbrico de banda ancha y voz.

Para el caso de Telefónica del Perú, la red 3G tiene cobertura en las ciudades de Lima, Arequipa, Cajamarca, Cusco, Chimbote, Chiclayo, Huancayo, Huaraz, Ica, Ilo, Juliaca, Moquegua, Tacna y Trujillo. La red opera en la banda de 1900MHz. Los servicios que ofrece son comunicación de voz y acceso inalámbrico bajo el nombre comercial de Speedy inalámbrico.

Nextel del Perú, ha diseñado su red 3G en la banda de frecuencia de 1900MHz para lo cual tiene asignada dos portadoras, de las cuales una se encuentra en uso. La cobertura es igual a la actual cobertura de Iden (todos los departamentos de la Costa y las ciudades de Arequipa, Cuzco y Puno) no obstante se tiene proyectado ampliar la red a otras ciudades.

Los servicios que ofrece son: comunicación de voz y servicio de datos de acceso inalámbrico. La red actualmente puede brindar servicios de HSDPA y HSUPA, se tiene proyectado migrar a Release 7 con el cual la tasa de transmisión para el enlace de bajada llegaría a 30Mbps.

Cabe resaltar que en el caso de Telefónica y Claro, la cobertura de sus redes 3G son más pequeñas que sus redes actuales en GSM/GPRS, por lo cual cuando el usuario con terminal 3G se encuentre fuera de cobertura de la misma, va a migrar a la cobertura GSM/GPRS actual de la empresa operadora sin perder la comunicación. Este caso, no sucede con los usuarios de Nextel, debido que ambas coberturas son similares, no obstante en caso que no hubiera cobertura 3G, el usuario simplemente se queda fuera de servicio debido que los terminales 3G no soportan la tecnología Iden. Para solucionar dicho inconveniente, Nextel tiene proyectado lanzar al mercado terminales que soporten la funcionalidad push-to-talk para fines del próximo año.

1.6.1 Terminales HSPA

De acuerdo a lo explicado en la teoría de HSDPA, existen diferentes terminales categorizados según la tasa de transmisión que pueden alcanzar debido a las técnicas de modulación y codificación como se muestra en la siguiente tabla. Como se observa los terminales de categoría 10 son los que pueden alcanzar la mayor tasa de transferencia haciendo uso de hasta 15 códigos mediante la técnica IR de HARQ.

<i>Category</i>	<i>Maximum number of parallel codes per HS-DSCH</i>	<i>Minimum inter-TTI interval</i>	<i>Transport channel bits per TTI</i>	<i>ARQ type at maximum data rate</i>	<i>Achievable maximum data rate (Mbps)</i>
1	5	3	7 298	Soft	1.2
2	5	3	7 298	IR	1.2
3	5	2	7 298	Soft	1.8
4	5	2	7 298	IR	1.8
5	5	1	7 298	Soft	3.6
6	5	1	7 298	IR	3.6
7	10	1	14 411	Soft	7.2
8	10	1	14 411	IR	7.2
9	15	1	20 251	Soft	10.2
10	15	1	27 952	IR	14.4
11	5	2	3 630	Soft	0.9
12	5	1	3 630	Soft	1.8

Fuente: HSDPA, HSUPA for UMTS – John Wiley

Figura 1.8 Categorías de UE para HSDPA

Cuando se desee escoger un terminal de HSPDA, se debe observar a que categoría pertenece para conocer cual va a ser la tasa de transmisión máxima que se puede esperar. Para el caso de HSUPA se tiene una tabla similar con lo cual se determina la velocidad de transmisión para el enlace de subida. Como se observa el valor de TTI también influye en la velocidad de transmisión. Para este caso los terminales de categoría 6 son los que pueden alcanzar la máxima tasa de transmisión para el enlace de subida utilizando dos SF = 2 y dos SF = 4.

<i>Category</i>	<i>Maximum number of E-DPDCHs and smallest spreading factor</i>	<i>Supported TTIs</i>	<i>Maximum data rate with a 10-ms TTI¹</i>	<i>Maximum data rate with a 2-ms TTI²</i>
1	1 × SF4	10ms	0.72 Mbps	N/A
2	2 × SF4	2 and 10 ms	1.45 Mbps	1.45 Mbps
3	2 × SF4	10ms	1.45 Mbps	N/A
4	2 × SF2	2 and 10 ms	2 Mbps	2.91 Mbps
5	2 × SF2	10ms	2 Mbps	N/A
6	2 × SF2 + 2 × SF4	2 and 10 ms	2 Mbps	5.76 Mbps

Fuente: HSDPA, HSUPA for UMTS – John Wiley

Figura 1.9 Categorías de UE para HSUPA

En conclusión, para escoger un equipo se debe de observar que la banda que opere dicho terminal sea la misma a la banda donde opera el operador que nos va a brindar el servicio (Claro 850MHz, y Telefónica y Nextel en 1900MHz) y en qué categoría se encuentra según la velocidad de transmisión que se requiera. Así tenemos que a la venta se encuentra actualmente equipos de Nokia N56, Nokia N75, Nokia N95, Nokia 6120, Huawei U1205,

Sony Ericcson Z750, Sony Ericcson K850, LG MU550, los famosos iPhone, y los Datacards Global Trotter Option, Huawei E620 entre otros.

CAPITULO II

EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DEL SERVICIO EN EL AREA DE ESTUDIO

El presente capítulo presenta un análisis de la situación socio – económica de la ciudad de Cajamarca, de la provincia y del departamento del mismo nombre para evaluar la demanda en la referida ciudad.

Los datos han sido obtenidos de los últimos censos registrados en las direcciones electrónicas pertenecientes al Instituto Nacional de Estadísticas e Informática, Pro-Inversión y el Ministerio del Trabajo y Promoción del Empleo. Adicionalmente, se ha visitado la ciudad de Cajamarca en diversas oportunidades para tener una idea mas precisa de la situación socio-económica y geográfica de la ciudad.

El departamento de Cajamarca se encuentra situado en la zona andina del norte del Perú, limita por el norte con la República del Ecuador; por el este con los departamentos de Amazonas y La Libertad; por el oeste, con los departamentos de Lambayeque y Piura; y por el sur, con La Libertad.

De acuerdo al último censo poblacional del 2007, Cajamarca, es el cuarto departamento más poblado del Perú con una población de 1.387.809 habitantes (aproximadamente el 5% de la población total), siendo la provincia de Cajamarca la mas habitada con el 22.8% de la población. Políticamente se encuentra dividido en 13 provincias y 127 distritos, siendo las más importantes la provincia y el distrito de Cajamarca.

2.1 Estudio Poblacional de la Ciudad de Cajamarca

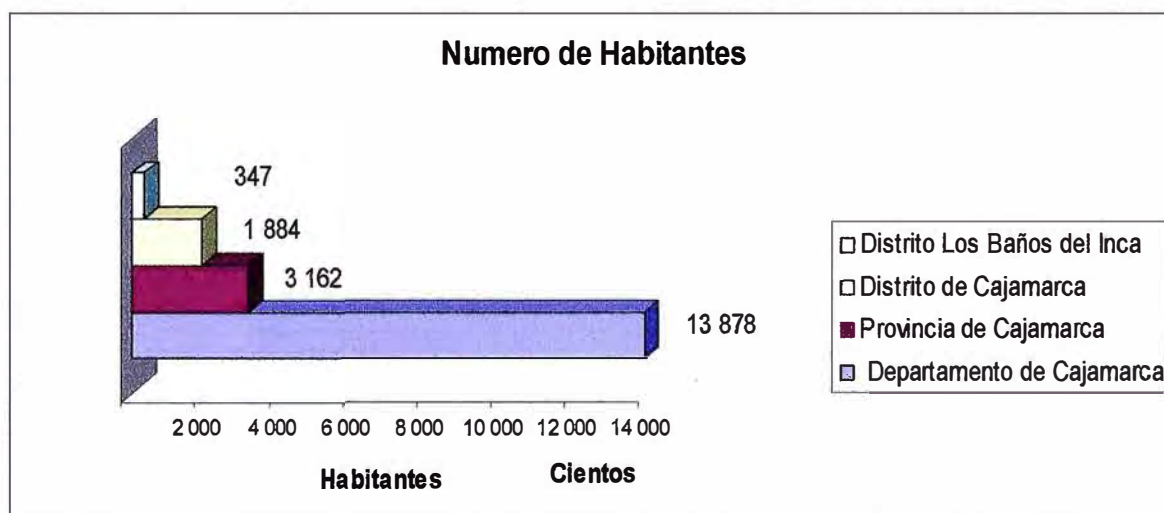
Debido que el presente proyecto tiene como objetivo principal brindar servicios de 3G, HSDPA, HSUPA en el área de Cajamarca Metropolitana, el cual comprende parte de los distritos de Cajamarca y Baños del Inca, se va estudiar la situación socioeconómica de estos. Para el caso de la población que trabaja en la mina Yanacocha, se considerará como parte de la población del distrito de Cajamarca.



Fuente: Google Earth

Figura 2.1 Vista Satelital de la ciudad de Cajamarca y Baños del Inca

Esta información nos va a permitir estimar la demanda y por ende la capacidad con la cual se debe planificar nuestra red piloto. A continuación se mostrarán datos estadísticos sobre la población y sus respectivas actividades.



Fuente: INE – Adaptación propia

Figura 2.2 Número de Habitantes de los Distritos de Cajamarca y Baños del Inca

De acuerdo al gráfico, el total de número de habitantes en el distrito de Cajamarca y Baños del Inca es de 223,112 usuarios, el cual representa el 70.57% de la población total de la provincia de Cajamarca.

En el año 2005 según el INEI los distritos de Cajamarca y Los Baños del Inca tenían 156,821 y 31,764 habitantes respectivamente por lo que comparando a los datos registrados en el último censo se puede estimar una tasa de crecimiento anual para ambos distritos.

Tabla 2.1 Proyección de la población de los distritos en estudio por año

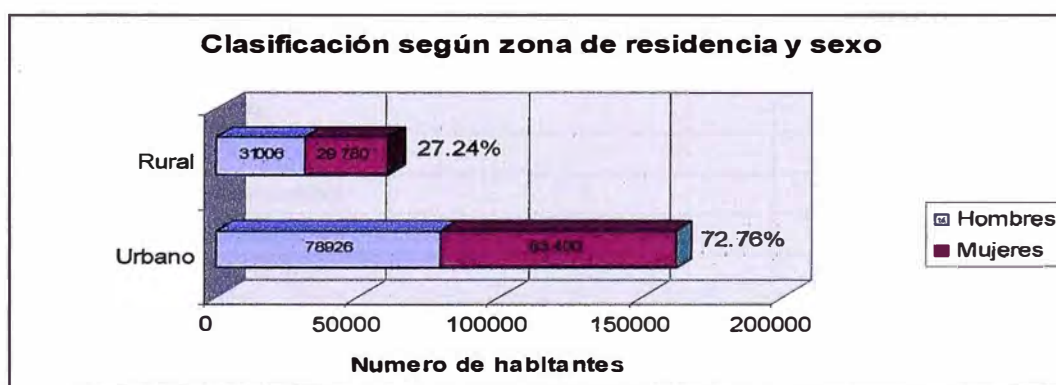
DISTRITO	2005	2007	Crecimiento de la Población	Tasa de crecimiento anual	2010	2011	2012	2013	2014
Cajamarca	156 821	188 363	31 542	10.06%	245 192	264 135	283 078	302 021	320 965
Los Baños del Inca	31 764	34 749	2 985	4.70%	39 647	41 280	42 913	44 546	46 178
Total	188 585	223 112	34 527	9.15%	284 840	305 415	325 991	346 567	367 143

Fuente: INEI – Adaptación propia

Como se observa en la tabla, en base a la tasa de crecimiento anual se ha podido estimar la población para los años 2010 hasta el 2014 con la finalidad de adecuar la capacidad de la red a dichos requerimientos.

2.2 Perfil del Usuario

Para determinar si el habitante es un posible usuario, se debe de analizar su perfil que básicamente está caracterizado por el género, la edad, lugar de residencia y ocupación, las cuales son mostradas en las tablas y gráficos siguientes.



Fuente: INEI – Adaptación propia

Figura 2.3 Clasificación según zona de residencia y sexo

Se observa que el 72% viven zonas urbanas mientras que el 27% restante en zonas rurales. Con respecto al sexo, hay un ligero mayor número de mujeres (50.73%) sobre los hombres (49.27%) en general.

Tabla 2.2 Cantidad de habitantes por edad en porcentaje

	Infantil (0-14 años)	Joven (15-29 años)	Adulta joven (30-44 años)	Adulta (45-59 años)	Adulta mayor (60-más años)	Total
Cajamarca	53 211	60 188	40 440	21 530	12 994	188 363
Los Baños del Inca	10 994	10 902	6 803	3 467	2 583	34 749
Total	64 205	71 090	47 243	24 997	15 577	223 112
Porcentaje	28.78%	31.86%	21.17%	11.20%	6.98%	

Fuente: INEI – Adaptación propia

De la tabla 2.2 se puede observar que la población de la Ciudad Metropolitana de Cajamarca es mayoritariamente joven, aproximadamente el 60% tiene menos de 30 años de edad.

2.3 Estudio de la Población Económicamente Activa

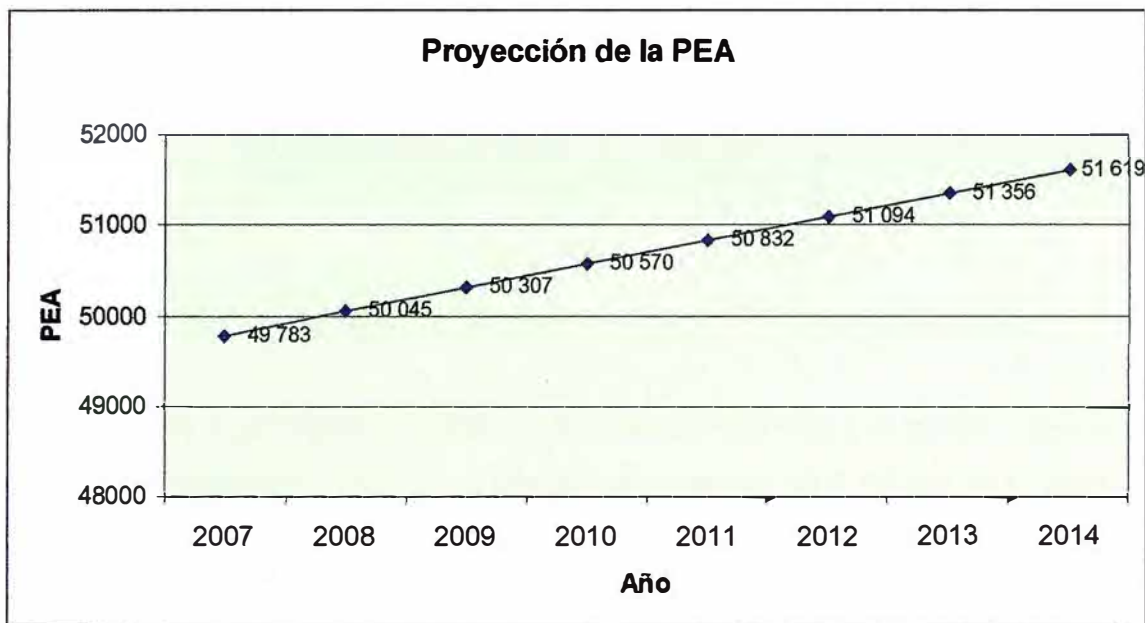
Para determinar la demanda efectiva es necesaria conocer los principales indicadores de la PEA (Población Económicamente Activa: personas en edad para trabajar que se encuentran laborando o buscando activamente trabajo) en la ciudad de Cajamarca, los cuales se pueden encontrar en la dirección electrónica del MTPE – Ministerio del Trabajo y Promoción del Empleo mediante la Encuesta de Hogares Especializada en Niveles de Empleo realizado el 2007.

Tabla 2.3 Indicadores sobre la población económicamente activa

INDICADORES SOBRE PET, PEA y PEA Ocupada	CANTIDAD
PET (Personas mayores de 14 años aptas para trabajar)	90 753
PEA Total	49 783
PEA Ocupada	46 299
PEA Desocupada	3 484
Tasa de actividad	54.90%
Ratio de empleo	51.00%

Fuente: MTPE – Adaptación propia

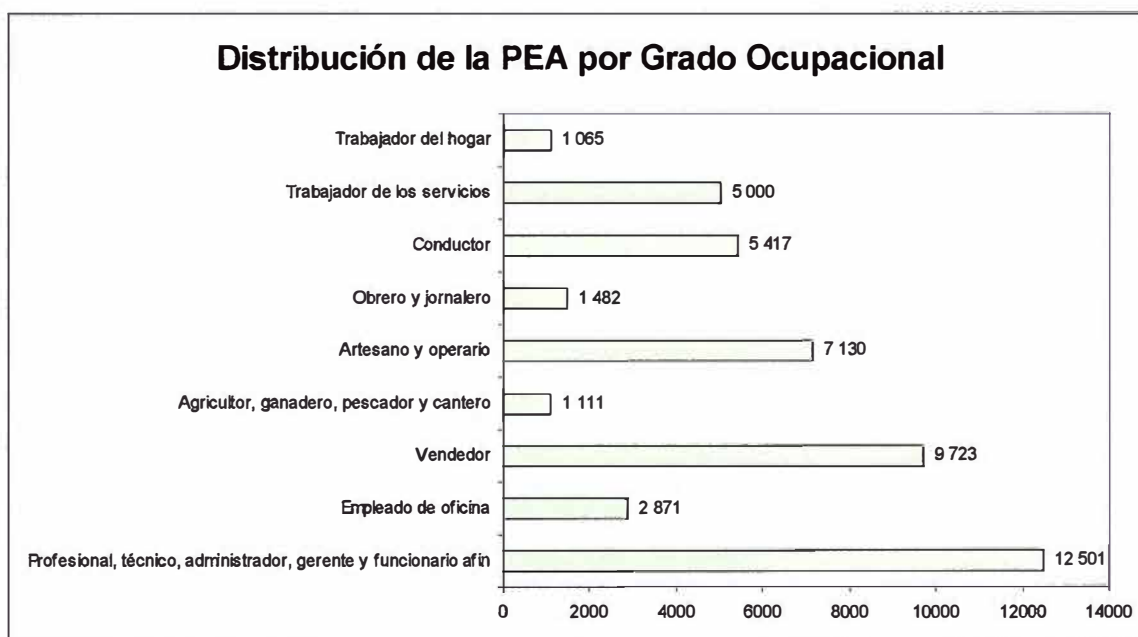
Considerando los datos publicados en el MTPE del año 2005, se puede obtener una tasa del crecimiento del PEA de 0.53% (cantidad de PEA para el 2005 era de 49,264), con este valor se puede deducir el PEA para los años 2010 hasta el 2014.



Elaboración propia

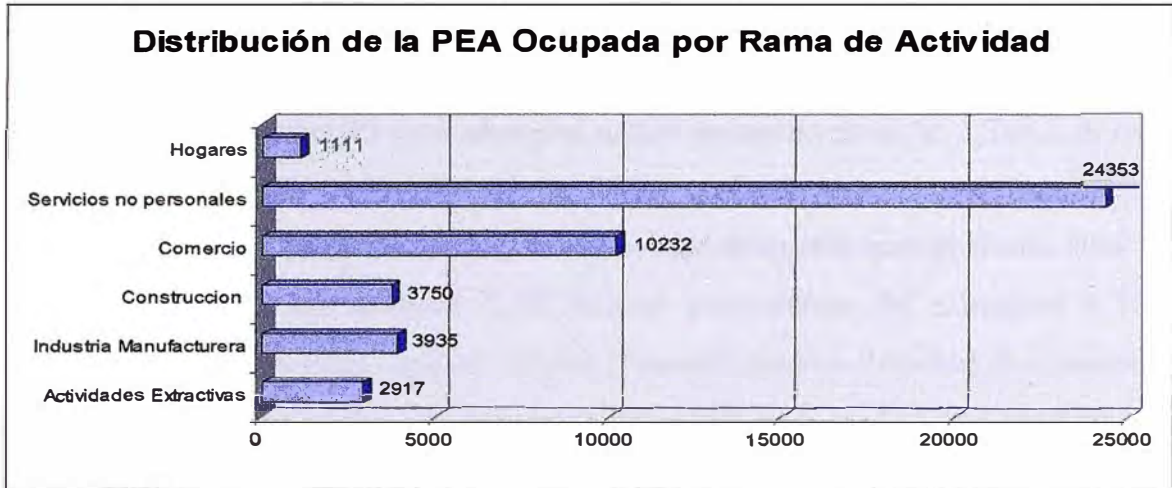
Figura 2.4 Proyección de la PEA

A continuación se muestran otros indicadores a tener en cuenta



Fuente: MTPE – Adaptación propia

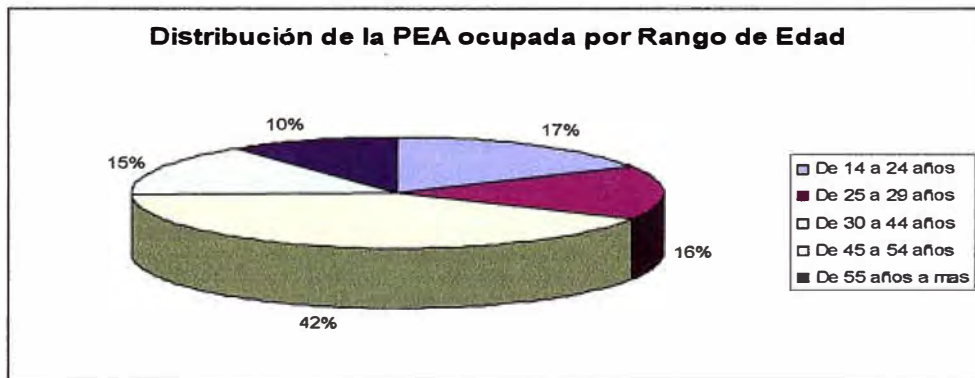
Figura 2.5 Distribución de la PEA por Grado Ocupacional



Fuente: MTPE – Adaptación propia

Figura 2.6 Distribución de la PEA Ocupada por Rama de Actividad

Se observa que la actividad principal es el comercio (22.1%), y el grado ocupacional lo dominan los profesionales, técnicos y afines, mientras que un 6.3% del PEA Ocupada se dedica a actividades extractivas (minería).



Fuente: MTPE – Adaptación propia

Figura 2.7 Distribución de la PEA ocupada por Rango de Edad



Fuente: MTPE – Adaptación propia

Figura 2.8 Distribución de la PEA Ocupada por Rango de Ingresos

En estos dos últimos gráficos se observa la PEA Ocupada la integran mayormente las personas con edades entre 30 y 40 años y el sueldo promedio es de S/. 1,234.2, el cual es mayor que el sueldo promedio de la PEA ocupada para Lima Metropolitana. Adicionalmente a los datos mostrados, se debe tener en cuenta que en el año 2009 a la ciudad de Cajamarca han arribado 4,372 turistas provenientes del extranjero y 50,526 turistas provenientes de otras regiones del país (Fuente Gobierno Regional de Cajamarca).

2.4 Utilización de los Servicios de Telecomunicaciones en la ciudad de Cajamarca

Para tener una idea de la penetración y el uso de los servicios de telecomunicaciones, se va tomar de referencia los datos registrados en la dirección electrónica del INEI correspondiente al XI Censo de Población y VI de Vivienda 2007. Debido que la red piloto, principalmente va a brindar servicios en zonas urbanas o sub urbanas, es necesario contar con la información de la población que vive en zonas urbanas de ambos distritos los cuales conforman la ciudad de Cajamarca en general.

Tabla 2.4 Distribución de hogares y habitantes en las zonas urbanas de Cajamarca y Los Baños del Inca de acuerdo al servicio de comunicación que poseen

Distrito / Zonas		TELÉFONO FIJO	TELÉFONO CELULAR	CONEXIÓN A INTERNET	CONEXIÓN A TV. POR CABLE	NINGUNO	Total
Cajamarca/ Urbano	Hogares	11561	23776	3872	3323	9047	35721
	Población	52707	98321	17287	14046	34950	146120
	Porcentaje	36.07%	67.29%	11.83%	9.61%	23.92%	100.00%
Los Baños del Inca/ Urbano	Hogares	763	1618	301	320	872	2689
	Población	3485	7067	1323	1332	3696	11722
	Porcentaje	29.73%	60.29%	11.29%	11.36%	31.53%	100.00%

Fuente: INEI – Adaptación propia

En total hay 38,410 viviendas en zonas urbanas localizadas en los distritos de Cajamarca y Baños del Inca. Se observa que un 25% de la población que reside en viviendas urbanas no cuenta con ningún tipo de tecnología de servicio de comunicación y sólo un 12% tiene acceso a Internet, por ello, estamos ante un gran potencial mercado para nuestra red piloto. Además la penetración de la telefonía móvil se encuentra en 65% aproximadamente.

2.5 Minera Yanacocha

La mina Yanacocha es la mayor mina aurífera de Sudamérica y se encuentra situada en la cordillera de los Andes a 48 kilómetros de la ciudad de Cajamarca, sus oficinas principales se encuentran en el kilómetro 24 de la carretera a Cajamarca. Sus principales accionistas

son el grupo Newton con el 51.35% de las acciones y la compañía minera peruana Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. con un 43.65%. Inició sus operaciones en la década del 90 y actualmente posee un total de 2,303 empleados en planilla y hasta 6745 contratistas y 104 empresas locales de bienes y servicios son proveedores directo de Yanacocha, por todo ello, es considerado el motor económico de la región de Cajamarca.



Fuente: Google Earth

Figura 2.9 Foto satelital del Yacimiento minero de Yanacocha

2.6 Determinación de la Demanda y Planes de Servicio Final al Usuario

De acuerdo con los datos mostrados podemos tener en resumen las siguientes cifras al año 2007

PEA ocupada: 49,783 habitantes

Factor de crecimiento de la PEA: 0.53%

Hogares totales: 38,410 hogares

Porcentaje de hogares sin ningún tipo de tecnología de comunicación: 26%

Porcentaje de hogares con ningún teléfono celular: 34%

Porcentaje de hogares sin Internet: 89%

Porcentaje de PEA ocupada joven (14 a 24 años): 17%

Porcentaje de la población menor de 30 años: 60%

Porcentaje de población entre 15 a 29 años: 31.86%

Porcentaje de la PEA ocupada con grado de ocupación de gerente, funcionario o afin: 27%

Porcentaje de la PEA ocupada con ingresos superiores a S/.4,000: 4%

Considerando que en cada hogar hay por lo menos un miembro de la PEA ocupada, se puede deducir que en la ciudad de Cajamarca se tiene un elevado mercado que aún no cuenta con servicios de telecomunicaciones por lo que se debe de diseñar un plan orientado a captar a dichos potenciales usuarios.

Además el número de hogares sin acceso a Internet es elevado por lo cual este potencial mercado debe ser cubierto por un plan que brinde servicio de banda ancha con una velocidad atractiva al usuario.

Se observa que la ciudad de Cajamarca es una ciudad con un elevado porcentaje de jóvenes, los cuales tienen necesidades de acceso Internet y comunicación con un precio acorde a su situación económica, motivando el diseño de un plan orientado a satisfacer las necesidades de este segmento.

De acuerdo a las cifras registradas en el MTPE, el 27% de la PEA ocupada tiene grados de ocupación entre gerentes, funcionarios, profesionales o afines, para este segmento se debe considerar diseñar un plan que pueda intercomunicar a todos los involucrados sin costo adicional de manera similar a una red privada móvil, además se debe brindar servicios de Internet de banda ancha.

Adicionalmente, para el segmento empresarial se debe plantear una propuesta de Internet ilimitado a una velocidad elevada a través del uso de modems inalámbricos.

Y por último, se observa que se cuenta con un 4% de la PEA ocupada con un ingreso elevado, para lo cual, un plan de comunicación ilimitado con acceso a Internet con velocidad elevada debe de satisfacer las necesidades de este segmento.

A continuación detallaremos los Planes que el usuario tendrá como servicio final:

Plan 3G: Consistirá principalmente en incursionar en el mercado de la telefonía móvil captando en primer lugar a las personas que aún no tienen un teléfono celular y ofreciéndoles además servicios de video llamada y de banda ancha limitado a una tarifa acorde con su nivel de ingresos.

Plan Joven: Tal como el nombre lo señala, este plan está orientado al segmento joven (estudiantes, universitarios y trabajadores de 20 a 30 años). Ofrece minutos para llamadas de voz, video llamada y servicio de Internet a una velocidad de 384Kbps.

Plan Ejecutivo: Orientado a competir con las redes privadas móviles, sus principales características es la comunicación ilimitado on-net y servicio de Internet a 1Mbps. Busca atraer a los trabajadores de cargo intermedio de las empresas de Cajamarca.

Plan Internet: Plan que busca ser una alternativa a Speedy de Telefónica y ofrece servicio de Internet a una velocidad de 2Mbps a través del uso de modems con puerto USB.

Plan Internet Empresarial: Brinda servicios de Internet para el sector empresarial con una velocidad de 3Mbps con capacidad de descarga ilimitada, se accede a través de modems con puerto USB.

Plan Business A-1: Plan orientado a los empleados de alto mando en las empresas de Cajamarca, ofrece comunicación ilimitada on – net y servicio de Internet con una velocidad de 3Mbps. Éste es el plan Premium y se espera captar a clientes exigentes como la mina Yanacocha.

Tabla 2.5 Cuadro Resumen de los Planes a ofrecer y sus servicios

Plan / Servicio / Costo	Plan 3G	Plan Joven	Plan Ejecutivo	Plan Internet	Plan Internet Empresarial	Plan Business A 1
Voz on - net (min)	50	100	Ilimitado	No	No	Ilimitado
Voz off - net (min)	10	20	100	No	No	200
Video llamada (min)	10	20	20	No	No	30
Datos a 128 kbps	100Mb	No	No	No	No	No
Datos a 384 kbps	No	400Mb	No	No	No	No
Datos a 1Mbps	No	No	1Gb	No	No	No
Datos a 2Mbps	No	No	No	2Gb	No	No
Datos a 3Mbps	No	No	No	No	Ilimitado	Ilimitado
Costo Mensual \$	10	15	30	20	70	100
Clasificación	G	J	E	I	IE	B

Elaboración Propia

Para la estimación de la demanda por cada Nodo, se debe tener en cuenta la ubicación de la misma y el número de usuarios con el plan a utilizar. Debido que nuestra red está orientado principalmente al servicio post-pago, se debe considerar como potencial demanda el total de número de habitantes que conforma la PEA en la ciudad de Cajamarca, que de acuerdo a los datos recogidos alcanza para el año 2010 la cifra de 50,570, no obstante como es de conocimiento, el mercado del post-pago en el Perú es de 20% del mercado de telefonía móvil, por lo cual nuestro mercado potencial se reduce a 10,114 habitantes. Ante estas cifras y a los datos mostrados en los párrafos anteriores, se va a estimar la cantidad de usuarios con su respectivo plan para cada nodo B propuesto de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 2.6 Cuadro resumen del potencial mercado según diversos rangos

Datos	2007	2010	2011	2012	2013	2014
PEA (Crecimiento 0.53%)	49783	50575	50838	51102	51366	51630
PEA Post Pago (20%)	9957	10115	10168	10220	10273	10326
Potencial Consumidores sin Tecnología de BA	2571	2612	2626	2639	2653	2667
Potencial Consumidores sin Celular (34%)	3374	3428	3446	3463	3481	3499
Potencial Consumidores sin Internet (89%)	8875	9016	9063	9110	9157	9204
Potencial Consumidores con Ingresos Elevados (4%)	398	405	407	409	411	413
Potencial Consumidores Jovenes (17%)	1693	1720	1729	1737	1746	1755
Potencial Consumidores con Cargo de Funcionario (27%)	2688	2731	2745	2760	2774	2788

Elaboración propia

La cantidad de usuario por Nodo y por año es la siguiente:

Tabla 2.7 a) Cantidad de usuarios por Nodo y por Plan

Nombre/Cantidad de Usuarios por Plan	PRIMER AÑO						SEGUNDO AÑO						TERCER AÑO					
	G	J	E	I	IE	B	G	J	E	I	IE	B	G	J	E	I	IE	B
Centro Cajamarca	59	29	70	335	37	18	47	53	49	270	26	6	15	22	17	109	19	3
Santa Apolonia	118	20	25	206	12	2	189	36	18	166	9	1	30	14	6	67	6	0
Cajamarca_Historico	108	20	35	232	20	6	173	36	25	187	14	2	27	14	9	75	10	1
Atahualpa	118	25	25	206	12	4	189	44	18	166	9	1	30	18	6	67	6	1
Baños del Inca	59	29	65	309	35	15	95	53	46	249	25	4	15	22	16	100	17	2
Coned	98	29	45	309	22	17	158	53	32	249	16	5	25	22	11	100	11	2
Cajamarca Norte	127	20	35	206	17	7	205	36	25	166	12	2	32	14	9	67	9	1
Km 24 Yanacocha	0	0	74	0	35	46	0	0	53	0	25	14	0	0	18	0	17	7
Cerro Negro	0	0	55	0	27	29	0	0	39	0	19	9	0	0	13	0	14	4
Cerro Mirador	0	0	60	0	27	29	0	0	42	0	19	9	0	0	15	0	14	4
Km 45	0	0	60	0	27	29	0	0	42	0	19	9	0	0	15	0	14	4
Total por Plan	686	172	546	1803	273	202	1057	311	385	1452	193	61	172	125	135	585	136	29
Total de Usuarios	3682						7141						8325					

Elaboración propia

Tabla 2.7 b) Cantidad de usuarios por Nodo y por Plan

Nombre/Cantidad de Usuarios por Plan	CUARTO AÑO						QUINTO AÑO					
	G	J	E	I	IE	B	G	J	E	I	IE	B
Centro Cajamarca	13	20	28	99	15	1	12	18	10	90	11	2
Santa Apolonia	27	13	10	61	5	0	24	12	4	55	4	0
Cajamarca_Historico	25	13	14	68	8	0	22	12	5	62	6	1
Atahualpa	27	16	10	61	5	0	24	15	4	55	4	0
Baños del Inca	13	20	26	91	14	1	12	18	9	83	10	2
Coned	22	20	18	91	9	1	20	18	6	83	6	2
Cajamarca Norte	29	13	14	61	7	0	27	12	5	55	5	1
Km 24 Yanacocha	0	0	30	0	14	3	0	0	11	0	10	5
Cerro Negro	0	0	22	0	11	2	0	0	8	0	8	3
Cerro Mirador	0	0	24	0	11	2	0	0	9	0	8	3
Km 45	0	0	24	0	11	2	0	0	9	0	8	3
Total por Plan	157	114	221	532	111	12	143	103	79	483	79	22
Total de Usuarios	9470						10379					

Elaboración propia

CAPITULO III PLANIFICACIÓN DE LA RED

La planificación de la red WCDMA – UMTS debe de considerar satisfacer los siguientes requerimientos:

Cobertura: Definir el área donde se desea brindar el servicio, considerando cobertura indoor y el tipo de morfología donde se encuentra ubicada.

Capacidad: De acuerdo al número de suscriptores y tipo de tráfico proyectado a ser brindado se define la capacidad que debe de soportar la red.

Calidad: Correspondiente a los requerimientos de probabilidad de bloqueo, BLER (Bloques errados), latencia y velocidades de transmisión para los diferentes servicios.

Para el diseño se ha considerado establecer las siguientes etapas bajo el alcance de las mismas:

1. Preparación:

Definición de la cantidad de suscriptores y tipo de servicio.

Definición de la morfología del área donde se pretende brindar el servicio.

2. Pre - Planificación:

Definición de los parámetros de servicio a ser calculados así como sus respectivos umbrales.

3. Planificación Nominal:

Definir el modelo de propagación a ser utilizado.

Definir los parámetros de radiofrecuencia a ser usados en el modelo de propagación.

Cálculo del Modelo de Propagación.

Cálculo de la pérdida de propagación

Cálculo del radio de cobertura de la celda, y el área de cobertura de la misma mediante el Link Budget.

Cálculo del Número de Nodos B necesarios para brindar la cobertura determinada.

4. Diseño Final a nivel de RF:

Dimensionamiento del tráfico

Dimensionamiento de la capacidad de la celda

Dimensionamiento de los Elementos de Canal –CE

Dimensionamiento de la Red de Transporte – Interfaz Iub

Dimensionamiento de los Scrambling Code.

5. Diseño de la RNC y el Core

Dimensionamiento de la RNC

Dimensionamiento de los elementos del Core

3.1. Preparación

Los datos son recogidos del capítulo 2, mediante la tabla 2.7. De acuerdo a lo descrito en el segundo capítulo, se puede considerar a la ciudad de Cajamarca y las zonas donde quedan las oficinas de Yanacocha como área sub-urbana y rural en general para los modelos de propagación a ser utilizados posteriormente.

3.2 Pre-Planificación

Para asegurar la cobertura de la red WCDMA así como la calidad del servicio a ser brindado se debe considerar para la planificación de la misma los siguientes parámetros con sus respectivos umbrales de acuerdo a la morfología del terreno en análisis.

a) RSCP – Potencia de la Señal del Código Recibido. Es la potencia de un código recibido por el UE medida en dBm luego del desensanchamiento, enviado en el canal CPICH por el Nodo B y reportado por el UE. Es el principal parámetro que define la cobertura de una celda UMTS y los umbrales (valores mínimos) para asegurar una buena cobertura indoor generalmente son:

Tabla3.1: Valores umbrales de RSCP

Área de Cobertura	RSCP (dBm)
Densa - Urbana	-84
Urbana	-85
Sub - Urbana	-90
Rural	-98
Carretera	-100

Elaboración propia

Cabe resaltar que estos valores varían dependiendo de los acuerdos establecidos entre el operador y el proveedor del servicio, como se observa el valor mas exigente corresponde a

las zonas densa – urbana por los edificios y demás construcciones cuyas pérdidas de penetración oscilan entre 25 a 30dB, y el menor valor pertenece a las zonas de carretera debido que sólo presentan como obstáculo los vehículos cuya pérdida de penetración es de aproximadamente 5dB. De acuerdo a la experiencia práctica se puede establecer una comunicación de voz con niveles de RSCP de hasta -110dBm siempre que los valores de E_c/I_o sean favorables (entre 0 y -6dB).

b) **E_c/I_o** . Representa a la potencia del código de la señal recibida entre la densidad espectral de la potencia total recibida incluyendo la señal y la interferencia, medido en el conector de la antena del UE en dB, y es el resultado de RSCP/RSSI. Es el principal parámetro que define la calidad de la señal y los umbrales para asegurar una buena cobertura generalmente son:

Tabla3.2: Valores umbrales de E_c/I_o

Área de cobertura	E_c/I_o (dB)
Densa - Urbana	-12
Urbana	-11.5
Sub - Urbana	-11.2
Rural	-11.2
Carretera	11.2

Elaboración propia

De manera similar al RSCP, estos valores también dependen de los acuerdos establecidos entre el operador y el proveedor del servicio. Como dato adicional, de acuerdo a la experiencia se puede establecer una comunicación de voz con valores de E_c/I_o de hasta -14dB.

3.3 Planificación Nominal

3.3.1 Modelos de Propagación

Los modelos de propagación son usados para predecir el valor promedio de la pérdida de propagación. Existen diversos modelos de propagación los cuales pueden ser simplificados con la siguiente expresión:

$$\text{Pérdida de Propagación} = f(d,f) \quad \dots (3.1)$$

Donde:

d: distancia entre el UE y el Nodo B

f: frecuencia utilizada en la interfaz de radio

No obstante lo señalado, para ser más precisos los modelos de propagación debe de tener en cuenta entre otros los siguientes factores:

Altura del UE;

Altura de las antenas del Nodo B;

Morfología del terreno (montañas, ríos, etc);

Construcciones (tamaño, material y grosos de edificios);

Vegetación;

Clima del medio ambiente;

Ruidos externos

Se va a mencionar los principales modelos de propagación utilizados en la planificación de las redes celulares:

a) Modelo del Espacio Libre

Utilizado para redes inalámbricas mediante propagación isotrópica en situaciones ideales. No tiene en cuenta las condiciones del medio ambiente ni el tamaño de las antenas del emisor ni el receptor. Nos suministra una aproximación de la pérdida del espacio libre debido a la distancia entre el emisor y receptor y la frecuencia utilizada

$$L_o = 32.4 + 20\log d + 20\log f \quad \dots (3.2)$$

Donde d está en Km y f en MHz.

b) Modelo de Okumura – Hata

Este modelo es comúnmente usado en los softwares de planificación. Se aplica en redes de comunicaciones móviles que tienen las siguientes características: la banda de frecuencia a ser utilizada comprende entre 150 – 1500MHz, la altura de las antenas de los Nodos B deben de estar comprendidas entre 30 a 200 metros, la altura de los terminales móviles entre 1 a 10 metros y los nodos B son macro celdas cuya cobertura se encuentra entre 1 a 20km. Ésta ultima característica restringe su funcionalidad en redes con cobertura urbana y densa – urbana. Además la banda de frecuencia que se va a utilizar en este proyecto es la banda de 1900MHz la cual supera el límite de frecuencia permitida. Este modelo es ampliamente utilizado en redes ubicadas en las afueras de la ciudad de Tokio haciendo uso de un factor de corrección. La fórmula a ser aplicada es:

$$L_{urb}(dB) = 69.55 + 26.16\log f_c - 13.82\log h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55\log h_{te})\log d \dots (3.3)$$

Donde :

f_c: frecuencia de la portadora (MHz)

hte: altura de la antena transmisora en rango de 30 a 200 metros.

hre: altura de la antena receptora en rango de 1 a 10 metros

a(hre): factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil y depende del área donde se desea cubrir

d; distancia entre transmisor y receptor (Km).

c) Modelo de Propagación Cost 231 – Hata

Este modelo es basado en los resultados de las pruebas de propagación de Okumura para bandas de frecuencia superiores a 1500MHz. Los requerimientos del tamaño de las antenas de los Nodos B y de los terminales son los mismos que los correspondientes al modelo de Okumura así como su rango de cobertura. Debido que nuestra red se desea desplegar en la banda de 1900MHz y en zonas urbanas, sub-urbanas y rurales, este modelo de propagación resulta adecuado para nuestros fines por lo consiguiente es el modelo escogido para los cálculos respectivos. Las fórmulas y los parámetros de este modelo de propagación son los siguientes:

$$L = L_u - a(h_m) + C_m \quad \dots(3.4)$$

$$L_u = A_1 + A_2 \log(f) + A_3 \log(H_b) + (B_1 + B_2 \log(H_b)) \log(d) \quad \dots(3.5)$$

Donde:

L_u : pérdida de propagación urbana

$a(h_m)$: factor de corrección correspondiente a la altura del receptor del UE (dB)

C_m : factor de corrección relacionado al área de cobertura (dB)

A_1 : constante de Offset (dB)

A_2 : factor de $\log(f)$

f : frecuencia (MHz)

A_3 : factor de $\log(H_b)$

H_b : altura de la antena del Nodo B (m)

B_1 : factor de $\log(d)$

B_2 : factor de $\log(H_b) \log(d)$

d : distancia entre el receptor y el transmisor (Km)

L : pérdida de propagación (Path Loss, PL_{DL} o PL_{UL} según corresponda)

Tenemos los siguientes valores de acuerdo al área de cobertura.

Tabla 3.3 Valores de parámetros del modelo de propagación Cost 231- Hata

Área de cobertura	A1	A2	A3	B1	B2	A(hm)	Cm
Denso-Urbano	46.3	33.9	-13.82	44.9	-6.55	0	3
Urbano	46.3	33.9	-13.82	44.9	-6.55	0	0
Sub-urbano	46.3	33.9	-13.82	44.9	-6.55	0	-8
Rural-Carretera	46.3	33.9	-13.82	44.9	-6.55	0	-15

Fuente: Huawei

3.3.2 Parámetros de Radiofrecuencia

Los parámetros de radiofrecuencia que debemos tener en cuenta para la planificación de la red es la altura de la antena del Nodo B y la ganancia de la misma. De acuerdo a la experiencia se tiene el siguiente cuadro el cual correlaciona la altura de la antena con la morfología del área de cobertura.

Tabla 3.4 Altura de las antenas

Área de Cobertura	Altura promedio de la antena del Nodo B (m)
Denso- Urbano	28
Urbano	28
Sub-urbano	38
Rural - Carretera	52

Elaboración propia

Para nuestro caso se va a considerar antenas a una altura entre 38 a 52 metros dependiendo de la zona específica a cubrir. En lo que respecta a la selección de la antena, se debe tener en cuenta las características de propagación de la señal. En resumen tenemos dos opciones: antenas con polarización vertical, recomendadas en ambientes simples como zonas rurales y con cobertura a carreteras debido que la señal recibida por el UE en estos dos ambientes no sufren mucha distorsión en el patrón de radiación; y las antenas con polarización cruzada, utilizada en ambientes de cobertura densa urbana y urbana debido que la señal sufre distorsión por el efecto multi-trayecto causado por los edificios y demás construcciones. En el mercado tenemos entre otras las antenas que se muestran a continuación:

Tabla 3.5 Cuadro comparativo de antenas

Antena	Proveedor	Ganancia (dBi)	Polarización	HBW°	VBW°	Beam Tilt	Utilidad
932LG65VTE-B-H	Andrew	17.5	X	65	6.8	0-8	Denso - Urbano
HBX-6516DS-VTM	Andrew	18	X	65	7	0-10	Urbano
UMVD-03319-XDM	Andrew	20.4	X	33	6.5	0-7	Urbano. Nodo con 4 sectores
HBX-6519DS-T0M	Andrew	20.3	X	65	3.8	0	Sub - Urbano
HBV-3020DS-T0M	Andrew	22.1	V	33	4.6	0	Rural y Carretera
950F65T2ZE-B	Andrew	18.5	V	65	6.3	2	Rural y Carretera

Elaboración propia

En resumen para facilitar los cálculos se va a considerar como ganancia estándar de la antena 18dBi.

3.3.3 Cálculo de la pérdida de Propagación

Para determinar el área de cobertura de una celda es necesaria establecer la pérdida máxima permitida de propagación (Path Loss) en el downlink y en el uplink, el cual se determina mediante las siguientes fórmulas:

$$PL_{DL} = P_{out_BS} - L_f_{BS} + G_{a_antena} - L_p - L_b - IM - SFM - FFM - S_{UE} \dots (3.6)$$

$$PL_{UL} = P_{out_UE} - L_f_{BS} + G_{a_antena} - L_p - L_b - IM - SFM - FFM - S_{BS} \dots (3.7)$$

Donde:

PL DL : Máxima pérdida de propagación en el downlink

PL UL : Máxima pérdida de propagación en el uplink

Pout_BS: Máxima potencia de transmisión del canal de tráfico del Nodo B

Pout_UE: Máxima potencia de transmisión del UE

Lf_BS: Pérdida por el cable

Ga antena: Ganancia de la antena del Nodo B

Lp: Pérdida por penetración (para cobertura indoor)

Lb: Pérdida por el cuerpo humano

IM: Margen de interferencia (relacionado a la carga)

SFM: Margen por desvanecimiento lento (Slow fading)

FFM: Margen por desvanecimiento rápido (Fast fading)

S_BS: Sensitividad del receptor (Nodo B)

S_UE: Sensitividad del receptor (UE)

A continuación detallaremos los principales parámetros utilizados en el cálculo del modelo de propagación:

a) Máxima potencia de transmisión – TCH (Nodo B, UE)

Generalmente se cuenta con una potencia portadora de 43dBm (20W) y la potencia utilizada para el CPICH es de 10% de la potencia total, es decir 33dBm. Para Release 99, la potencia utilizada por cada servicio se establece de acuerdo a la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Distribución de la potencia para Release 99

Máx Pot TX del DCH en DL - Release 99	
Servicios	Potencia (dBm)
AMR12.2k	31 a 33
CS64k	34 a 36
PS64k	33 a 35
PS128k	33 a 35
PS384k	35 a 37

Fuente: Huawei

Como observamos para el servicio de voz (AMR 12.2Kbps), la máxima potencia para downlink es de 33dBm. En el caso del UE, la potencia máxima de transmisión es de 24dBm, sin embargo el UE de categoría 4 es el más comúnmente usado y puede transmitir como máximo hasta 21 dBm.

b) Sensitividad del Receptor (S_{BS}, S_{UE})

La sensitividad del receptor se calcula a partir de las siguientes fórmulas:

$$S_{BS} = N_{th} + NF(\text{Nodo B}) + E_b/N_o - GP \quad \dots(3.8)$$

$$S_{UE} = N_{th} + NF(\text{UE}) + E_b/N_o - GP \quad \dots(3.9)$$

Donde:

N_{th}: Ruido de potencia térmico y es igual al producto KxTxW (K es la constante de Boltzman, T es la temperatura y W es el ancho de banda), su valor promedio es -108dBm/3.84MHz.

NF: Figura de ruido. Para el UE el valor es de 7dB y para el Nodo B es de 2dB.

E_b/N_o: Es la energía de bit sobre la densidad total de ruido requerido para mantener la calidad del servicio y los valores depende del servicio, el BLER y la velocidad del usuario. En la siguiente tabla se puede observar los valores típicos requeridos para el servicio de voz de acuerdo al área de cobertura, para ello se ha tomado como referencia que la

velocidad del usuario en ambientes denso urbano, urbano y sub-urbano es de 3 a 50Km/h, mientras que para ambientes rurales y de carretera es de 120Km/h.

Tabla 3.7 Valores de Eb/No para AMR 12.2kbps

Servicio	BLER	Área de Cobertura	Uplink Eb/NO	Downlink Eb/NO
AMR12.2k	1.00%	Denso Urbano	5.4dB	7.8 dB
		Urbano / Sub-urbano	5.7dB	8.1dB
		Rural	4.5 dB	8.3 dB
		Carretera	5.2dB	8.1dB

Fuente: Huawei

GP: La Ganancia de Procesamiento es relacionado con el servicio y es el resultado de $10 \times \log(3840/R(\text{kbps}))$, donde R es la tasa de transmisión del servicio, el cual para voz es 12.2kbps por lo que el GP es de 25dB.

c) Pérdida por el cuerpo humano- Lb

Es la pérdida de la señal en el UE por la presencia del cuerpo humano. Su valor típico es de 3dB para voz y de 1dB para servicios de datos.

d) Pérdida por penetración Lp

Es la pérdida debido a las edificaciones y obstáculos que debe de penetrar la señal. Los valores dependen de la morfología y se establecen de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 3.8 Pérdida por penetración

Área de cobertura	Lp (dB)
Denso Urbano	22dB
Urbano	20dB
Sub - urbano	15dB
Rural	10dB
Carretera	6dB

Elaboración propia

e) Margén de Interferencia (IM)

Es el margen requerido en el link Budget debido al ruido causado por la carga del sistema.

Para el uplink, sólo depende de la carga del sistema η_{UL}

$$IM_{uplink} = -10 * \log_{10}(1 - \eta_{UL}) \quad \dots(3.10)$$

Y para el downlink se obtiene de la siguiente fórmula:

$$IM_{downlink} = -10 \cdot \log_{10}(NoiseRise) \quad \dots (3.11)$$

Donde:

$$NoiseRise = \frac{1}{1 - \frac{P_{max} \times \eta_{DL} \times (\alpha + f)}{CL_{NR} \times NF \times P_{No}}} \quad \dots (3.12)$$

$$CL_{NR} = Power_{Tx} - Sensitivity_{Rx} - FFM \quad \dots (3.13)$$

Power_{Tx}: Potencia de transmisión de TCH

FFM: Margen de desvanecimiento rápido

NF: Figura de ruido

P_{max}: Potencia máxima de transmisión

η_{DL} : Carga de la celda en downlink

α : Factor de no ortogonalidad

f: Factor de interferencia de celdas adyacentes, cuyo valor es de 1.78

P_{No}: Ruido térmico

Carga del Sistema: Para los propósitos de la planificación, se va a considerar los siguientes valores de carga del sistema:

Uplink : 50%

Downlink: para zonas densa-urbanas (72%), urbanas (70%), sub-urbanas (60%) y rural y carretera (50%).

f) Margen por Desvanecimiento Rápido – FFM

El desvanecimiento rápido ocurre debido a la velocidad del usuario y al efecto multi-trayecto realizado por la señal. En WCDMA, este problema se compensa con el uso de algoritmos de control de potencia, por lo cual para efectos de cálculo el valor del margen de desvanecimiento rápido es insignificante (igual a cero).

g) Margen por Desvanecimiento Lento - SFM

El desvanecimiento lento corresponde a la variación del nivel de señal causado por el efecto de sombra debido a las edificaciones o montañas en el área de cobertura. Para asegurar cobertura se debe de considerar un margen el cual va a depender si se toma en cuenta el SHO (soft-handover) y área de cobertura de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 3.9 Margen por Desvanecimiento Lento –SFM

Area de Cobertura	SFM(Sin SHO)	SFM(Con SHO)
Denso Urbano	14.15dB	8.26dB
Urbano	10.71dB	6.04dB
Sub-urbano	7.52dB	4.01dB
Rural y Carretera	6.12dB	3.13dB

Fuente: Huawei

h) Factor de no ortogonalidad

Este valor corresponde al efecto de la propagación multi-trayecto que causa sobre la ortogonalidad de los códigos utilizados. En el downlink el árbol de códigos OVSF es compartido por varios usuarios teniendo un factor de no ortogonalidad dependiendo de la morfología del área a cubrir, en cambio en el uplink cada usuario tiene su propio árbol de códigos OVSF por lo que el factor no ortogonal es nulo. Para el cálculo del link Budget del E_c/I_o , como el I_o toma en cuenta toda la interferencia recibida por el UE, entonces el factor de no ortogonalidad es igual a uno.

i) Pérdida por Cable

Debido que la conexión entre la antena y el equipo de radiofrecuencia es mediante el uso de cables, se debe tener en cuenta la atenuación producida por el cable. Para nuestro caso, los equipos de radiofrecuencia – RRU van a ser instalados cerca de la antena por lo que la pérdida por cable es de aproximadamente 0.5dB (tomando como referencia cables de 1/2 pulgada).

En conclusión, reemplazando el resultado del valor de la pérdida máxima de propagación permitida para brindar un servicio en la fórmula de modelo de propagación de Cost 231 – HATA, se puede obtener el radio de cobertura máxima de la celda para cada área de cobertura en análisis. A continuación se va a mostrar tablas que contiene todos los cálculos realizados para cada morfología y servicio.

3.3.4 Cálculo del radio y área de cobertura

a) Link Budget para el servicio de voz – AMR 12.2Kbps

Tabla 3.10 a) Link Budget para AMR 12.2k

	Denso Urbano		Urbano		Sub-Urbano		Formula
Dirección de la señal	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	
TRANSMISION							
Tasa de la Portadora (Kbps)	12.2		12.2		12.2		a
Max Potencia de Transmisión del Nodo B (dBm)	43		43		43		
Max Potencia TCH (dBm)	21	33	21	33	21	33	b
Pérdida de Cable Tx (dB)	0	0.5	0	0.5	0	0.5	c
Pérdida por el cuerpo TX(dB)	3	0	3	0	3	0	d
Ganancia de antena Tx (dBi)	0	18	0	18	0	18	e
PIRE (dBm)	18	50.5	18	50.5	18	50.5	f = b-c-d+e
RECEPCIÓN							
Ganancia de la antena Rx (dBi)	18	0	18	0	18	0	g
Pérdida de Cable Rx (dB)	0.5	0	0.5	0	0.5	0	h
Pérdida por el cuerpo RX(dB)	0	3	0	3	0	3	i
Figura de Ruido (dB)	2.10	7	2.10	7	2.10	7	j=h+1.6
Eb/No requerido (dB)	5.4	7.8	5.7	8.1	5.7	8.1	k
Sensitividad del Receptor (dBm)	-125.64	-118.34	-125.34	-118.04	-125.34	-118.04	l=-174+j+k+10*log10(a*1000)
Carga del Sistema	0.5	0.72	0.5	0.7	0.5	0.6	m
Factor de no ortogonalidad en el borde de cobertura	N/A	0.55	N/A	0.66	N/A	0.72	
Margen de Interferencia IM (dB)	3.01	1.68	3.01	1.88	3.01	1.60	n=-10*log10(1-m)
Margen por Desvanecimiento rápido FFM (dB)	0.8	0	0	0	0	0	o
Min.nivel de señal en la recepción (dBm)	-139.83	-113.65	-140.33	-113.16	-140.33	-113.44	p=l+n+o-g+i
MAXIMA PÉRDIDA DE PROPAGACIÓN - PATH LOSS							
Pérdida por penetración (dB)	22		20		15		q
Margen por Desvanecimiento lento SFM (dB)	8.26		6.04		4.01		r
Path loss (dB)	127.57	133.89	132.29	137.62	139.32	144.93	s=f-p-q-r
RADIO DE LA CELDA							
Tamaño de la antena del UE (m)	1.5		1.5		1.5		
Tamaño de la antena del Nodo B (m)	28		28		38		
Frecuencia (MHz)	1890	1970	1890	1970	1890	1970	
Modelo de Propagación usado	Cost231-Hata		Cost231-Hata		Cost231-Hata		
Radio de la celda (km)	0.43	0.63	0.72	0.98	2.19	3.06	
Radio de cobertura (km)	0.43		0.72		2.19		

Elaboración propia

Tabla 3.10 b) Link Budget para AMR 12.2k

	Rural		Carretera		Formula
Dirección de la señal	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	
TRANSMISION					
Tasa de la Portadora (Kbps)	12.2		12.2		a
Max Potencia de Transmisión del Nodo B (dBm)	43		43		
Max Potencia TCH (dBm)	21	33	21	33	b
Pérdida de Cable Tx (dB)	0	0.5	0	0.5	c
Pérdida por el cuerpo TX(dB)	3	0	3	0	d
Ganancia de antena Tx (dBi)	0	18	0	18	e
PIRE (dBm)	18	50.5	18	50.5	f = b-c-d+e
RECEPCIÓN					
Ganancia de la antena Rx (dBi)	18	0	18	0	g
Pérdida de Cable Rx (dB)	0.5	0	0.5	0	h
Pérdida por el cuerpo RX(dB)	0	3	0	3	i
Figura de Ruido (dB)	2.10	7	2.10	7	j=h+1.6
Eb/No requerido (dB)	4.5	8.3	5.2	8.1	k
Sensitividad del Receptor (dBm)	-126.54	-117.84	-125.84	-118.04	l=-174+j+k+10*log10(a*1000)
Carga del Sistema	0.5	0.5	0.5	0.5	m
Factor de no ortogonalidad en el borde de cobertura	N/A	0.54	N/A	0.56	
Margen de Interferencia IM (dB)	3.01	1.25	3.01	1.19	n=-10*log10(1-m)
Margen por Desvanecimiento rápido FFM (dB)	0	0	0	0	o
Min.nivel de señal en la recepción (dBm)	-141.53	-113.59	-140.83	-113.84	p=l+n+o-g+i
MAXIMA PÉRDIDA DE PROPAGACIÓN - PATH LOSS					
Pérdida por penetración (dB)	10		6		q
Margen por Desvanecimiento lento SFM (dB)	3.13		3.13		r
Path loss (dB)	146.40	150.96	149.70	155.21	s=f-p-q-r
RADIO DE LA CELDA					
Tamaño de la antena del UE (m)	1.5		1.5		
Tamaño de la antena del Nodo B (m)	52		52		
Frecuencia (MHz)	1890	1970	1890	1970	
Modelo de Propagación usado	Cost231-Hata		Cost231-Hata		
Radio de la celda (km)	6.67	8.74	8.36	11.69	
Radio de cobertura (km)	6.67		8.36		

Elaboración propia

b) Link Budget para asegurar un E_c/I_0 adecuado en el Canal Piloto

Tabla 3.11 Link Budget para Ec/Io

	Denso Urbano	Urbano	Sub-Urbano	Rural	Carretera	Formula
Dirección de la señal	Downlink	Downlink	Downlink	Downlink	Downlink	
TRANSMISION						
Max Potencia de Transmisión del Nodo B (dBm)	43	43	43	43	43	
Max Potencia TCH (dBm)	33	33	33	33	33	b
Pérdida de Cable Tx (dB)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	c
Pérdida por el cuerpo TX (dB)	0	0	0	0	0	d
Ganancia de antena Tx (dBi)	18	18	18	18	18	e
PIRE (dBm)	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	f = b-c-d+e
RECEPCIÓN						
Ganancia de la antena Rx (dBi)	0	0	0	0	0	g
Pérdida de Cable Rx (dB)	0	0	0	0	0	h
Pérdida por el cuerpo RX (dB)	3	3	3	3	3	i
Figura de Ruido (dB)	7	7	7	7	7	j=h+1.6
Ec/Io requerido (dB)	-12	-11.5	-11.2	-11.2	-11.2	k
Sensibilidad del Receptor (dBm)	-113.13	-112.63	-112.33	-112.33	-112.33	l=10*log(KTW)+j+k
Carga del Sistema	0.72	0.7	0.6	0.5	0.5	m
Factor de no ortogonalidad en el borde de cobertura	1	1	1	1	1	
Margen de Interferencia IM (dB)	7.37	7.75	7.38	6.59	6.59	n
Margen por Desvanecimiento rápido FFM (dB)	0	0	0	0	0	o
Min.nivel de señal en la recepción (dBm)	-102.76	-101.89	-101.96	-102.75	-102.75	p=l+n+o-g+i
MAXIMA PÉRDIDA DE PROPAGACIÓN - PATH LOSS						
Pérdida por penetración (dB)	22	20	15	10	6	q
Margen por Desvanecimiento lento SFM (dB)	8.26	6.04	4.01	3.13	3.13	r
Path loss (dB)	123.00	126.35	133.45	140.12	144.12	s=f-p-q-r
RADIO DE LA CELDA						
Tamaño de la antena del UE (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
Tamaño de la antena del Nodo B (m)	28	28	38	52	52	
Frecuencia (MHz)	1970	1970	1970	1970	1970	
Modelo de Propagación usado	Cost231 - Hata	Cost231 - Hata	Cost231 - Hata	Cost231 - Hata	Cost231 - Hata	
Radio de cobertura (km)	0.31	0.47	1.42	4.16	5.47	

Elaboración propia

Como se observa, el radio de cobertura para asegurar un E_c/I_o determinado, es menor que el obtenido para el servicio de voz, por lo cual para efectos de los cálculos de propagación se va a tomar en cuenta el radio menor.

Además, se procederá a verificar que el valor RSCP en el borde de la cobertura sea mayor a los valores umbrales establecidos mediante la siguiente fórmula:

$$\text{RSCP umbral} = \text{PIRE} - L_b - \text{SFM} - \text{PathLoss} \quad \dots(3.14)$$

Los valores de entrada son obtenidos de las tablas anteriores y su resultado se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.12 Resumen de Radio de Cobertura para Release 99

	Denso Urbano		Urbano		Sub-Urbano		Rural		Carretera	
	Radio de la Celda (km) basado en TCH	Radio de la Celda (km) basado en E_c/I_o	Radio de la Celda (km) basado en TCH	Radio de la Celda (km) basado en E_c/I_o	Radio de la Celda (km) basado en TCH	Radio de la Celda (km) basado en E_c/I_o	Radio de la Celda (km) basado en TCH	Radio de la Celda (km) basado en E_c/I_o	Radio de la Celda (km) basado en TCH	Radio de la Celda (km) basado en E_c/I_o
Radio (km)	0.43	0.31	0.72	0.47	2.19	1.42	6.67	4.16	8.36	5.47
Radio de Cobertura (km)	0.31		0.47		1.42		4.16		5.47	
Umbral RSCP outdoor (dBm)	-83.76		-84.89		-89.96		-95.75		-99.75	

Elaboración propia

Ahora que se ha obtenido el valor del radio para cada área de cobertura, se procederá a realizar el link Budget para cada servicio adicional que se ofrecerá a través de la red, se observará que el radio de cobertura será dependiente del servicio a brindar.

c) Link Budget para VoIP

Para el cálculo del link Budget para el servicio de VoIP, la mayoría de los parámetros son iguales a los analizados para el servicio de voz AMR 12.2kbps, no obstante se debe tener en cuenta lo siguiente:

Tipo de Portadora: En uplink por HSUPA a 12.2kbps, y en downlink por HSDPA a 12.2kbps; o se puede transmitir en ambos sentidos a través de CS64K.

Potencia de transmisión máxima para TCH (dBm). Para uplink se considera como potencia máxima 24dBm para UE de categoría 3. Para downlink, la potencia máxima de transmisión es dependiente de la carga de la red para R99, para efectos de cálculo se va a considerar un valor de 40dBm aproximadamente.

Potencia de Backoff (dB). Debido al uso de multi-códigos, se incrementa el pico de la tasa de potencia promedio de la señal transmitida por el UE, por ello es necesario introducir un factor denominado reducción de potencia máxima para disminuir el punto de operación de la amplificador del UE. Para los cálculos se va a considerar 1.5dB para HSUPA.

Requerimiento del E_c/N_0 : El umbral de demodulación es definido por el E_c/N_0 .

Sensitividad del Receptor. Debido que para la demodulación se considera el valor del E_c/N_0 , la ganancia de procesamiento no es tomada en cuenta en el cálculo de la sensibilidad del receptor.

Margen por Desvanecimiento lento SFM. De acuerdo a la teoría para HSUPA se considera la ganancia de SHO, mientras que para HSDPA al no soportar SHO no se considera dicho factor.

Tabla 3.13 a) Link Budget para VoIP

	Denso Urbano		Urbano		Sub-Urbano		Formula
Dirección de la señal	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	
TRANSMISION							
Tasa de la Portadora (Kbps)	12.2		12.2		12.2		a
Max Potencia de Transmisión del Nodo B (dBm)	43		43		43		
Max Potencia TCH (dBm)	24	40.17	24	40	24	39	b
Pérdida de Cable Tx (dB)	0	0.5	0	0.5	0	0.5	c
Pérdida por el cuerpo TX(dB)	3	0	3	0	3	0	d
Ganancia de antena Tx (dBi)	0	18	0	18	0	18	e
Potencia de Back Off	1.5	0	1.5	0	1.5	0	t
PIRE (dBm)	19.50	57.67	19.50	57.50	19.50	56.50	f = b-c-d+e-t
RECEPCIÓN							
Ganancia de la antena Rx (dBi)	18	0	18	0	18	0	g
Pérdida de Cable Rx (dB)	0.5	0	0.5	0	0.5	0	h
Pérdida por el cuerpo RX(dB)	0	3	0	3	0	3	i
Figura de Ruido (dB)	2.10	7	2.10	7	2.10	7	j=h+1.6
Ec/No requerido (dB)	-18.9	-19.92	-18.23	-20.9	-18.23	-20.9	k
Sensitividad del Receptor (dBm)	-124.96	-121.08	-124.29	-122.06	-124.29	-122.06	l=-174+j+k+10*log10(3840000)
Carga del Sistema	0.5	0.72	0.5	0.7	0.5	0.6	m
Factor de no ortogonalidad en el borde de cobertura	N/A	0.55	N/A	0.66	N/A	0.72	
Margen de Interferencia IM (dB)	3.01	0.14	3.01	0.12	3.01	0.14	n=-10*log10(1-m)
Margen por Desvanecimiento rápido FFM (dB)	0.2	0	0.2	0	0.2	0	o
Min.nivel de señal en la recepción (dBm)	-139.75	-117.93	-139.08	-118.93	-139.08	-118.92	p=l+n+o-g+i
MAXIMA PÉRDIDA DE PROPAGACIÓN - PATH LOSS							
Pérdida por penetración (dB)	22		20		15		q
Margen por Desvanecimiento lento SFM (dB)	8.19	14.11	5.98	10.68	3.98	7.52	r
Path loss (dB)	129.06	139.49	132.60	145.75	139.60	152.90	s=f-p-q-r
RADIO DE LA CELDA							
Tamaño de la antena del UE (m)	1.5		1.5		1.5		
Tamaño de la antena del Nodo B (m)	28		28		38		
Frecuencia (MHz)	1890	1970	1890	1970	1890	1970	
Modelo de Propagación usado	Cost231-Hata		Cost231-Hata		Cost231-Hata		
Radio de la celda (km)	0.48	0.91	0.73	1.66	2.23	5.20	
Radio de cobertura (km)	0.43		0.72		2.23		

Elaboración propia

Tabla 3.13 b) Link Budget para VoIP

	Rural		Carretera		Formula
Dirección de la señal	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	
TRANSMISION					
Tasa de la Portadora (Kbps)	12.2		12.2		a
Max Potencia de Transmisión del Nodo B (dBm)	43		43		
Max Potencia TCH (dBm)	24	37.78	24	37.78	b
Pérdida de Cable Tx (dB)	0	0.5	0	0.5	c
Pérdida por el cuerpo TX(dB)	3	0	3	0	d
Ganancia de antena Tx (dBi)	0	18	0	18	e
Potencia de Back Off	1.5	0	1.5	0	t
PIRE (dBm)	19.50	55.28	19.50	55.28	f = b-c-d+e-t
RECEPCIÓN					
Ganancia de la antena Rx (dBi)	18	0	18	0	g
Pérdida de Cable Rx (dB)	0.5	0	0.5	0	h
Pérdida por el cuerpo RX(dB)	0	3	0	3	i
Figura de Ruido (dB)	2.10	7	2.10	7	j=h+1.6
Ec/No requerido (dB)	-18.92	-18.32	-18.56	-19.26	k
Sensitividad del Receptor (dBm)	-124.98	-119.48	-124.62	-120.42	=-174+j+k+10*log10(3840000)
Carga del Sistema	0.5	0.5	0.5	0.5	m
Factor de no ortogonalidad en el borde de cobertura	N/A	0.54	N/A	0.56	
Margen de Interferencia IM (dB)	3.01	0.25	3.01	0.21	n=-10*log10(1-m)
Margen por Desvanecimiento rápido FFM (dB)	0.2	0	0.2	0	o
MIn.nivel de señal en la recepción (dBm)	-139.77	-116.22	-139.41	-117.21	p=l+n+o-g+i
MAXIMA PÉRDIDA DE PROPAGACIÓN - PATH LOSS					
Pérdida por penetración (dB)	10		6		q
Margen por Desvanecimiento lento SFM (dB)	2.93	5.84	2.93	5.84	r
Path loss (dB)	146.34	155.66	149.98	160.65	s=f-p-q-r
RADIO DE LA CELDA					
Tamaño de la antena del UE (m)	1.5		1.5		
Tamaño de la antena del Nodo B (m)	52		52		
Frecuencia (MHz)	1890	1970	1890	1970	
Modelo de Propagación usado	Cost231-Hata		Cost231-Hata		
Radio de la celda (km)	6.64	12.06	8.52	16.96	
Radio de cobertura (km)	6.64		8.52		

Elaboración propia

Se observa que la cobertura para el servicio de VoIP sobre HSPA es similar al del servicio de voz sobre Release 99.

d) HSDPA Link Budget

Para el cálculo del Link Budget para HSDPA se van a incluir el siguiente parámetro: Relación de la señal entre la interferencia más el ruido SINR. Debido que para el uso del E_c/N_0 o E_b/N_0 se debe de conocer la tasa de bits o el número de códigos utilizado y en HSDPA éstos pueden variar cada 2ms, se recurre a otro parámetro el cual se define mediante la siguiente fórmula:

$$SINR = \frac{SF_{HSDPA} \times P_{HSDPA}}{P_{TOT} \times (1 - @ + 1/G)} \quad \dots(3.15)$$

Donde:

SF_{HSDPA} : Factor de ensanchamiento para HSDPA, igual a 16.

P_{HSDPA} : Potencia asignada para el canal HS-PDSCH.

P_{TOT} : Potencia máxima de transmisión del Nodo B

@: Factor de no - ortogonalidad para el downlink.

G : Factor geométrico, que es el resultado de la división de la potencia recibida total de la celda servidora entre la potencia total recibida por las celdas adyacentes con el ruido.

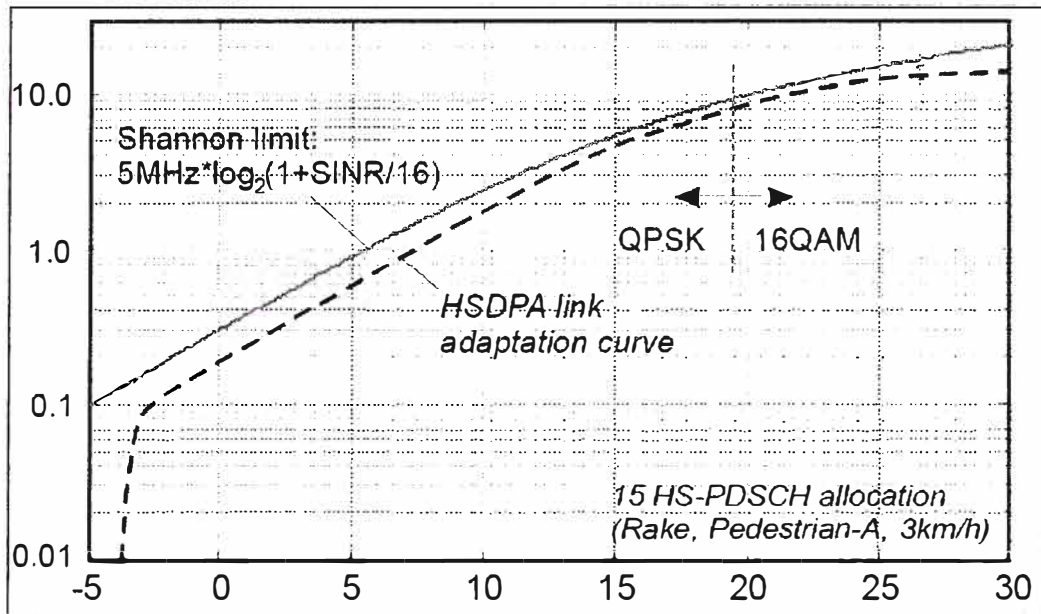
De acuerdo al SINR obtenido para cada área de cobertura, se tiene como resultado el valor de velocidad de transmisión mínima en el borde de cobertura de la celda a partir de la siguiente fórmula, siempre que se utilice 5 códigos.

$$\text{Velocidad (Mbps)} = 0.0039 * SINR^2 + 0.0476 * SINR + 0.1421 \quad \dots(3.16)$$

Donde:

SINR está en dB y se encuentra en el rango de -5dB a 20dB.

En situaciones más favorables y con el uso de los 15 códigos posibles, se puede obtener mayores tasas de transmisión según se muestra el siguiente gráfico



Fuente: WCDMA evolution with HSDPA – Jussi Kahtava

Figura 3.1 Distribución de la velocidad de transmisión versus el SINR para 15 códigos

Entonces, partiendo del radio de cobertura obtenido para asegurar la calidad en el canal piloto, se procede a calcular en sentido inverso según las siguientes expresiones con la finalidad de obtener el SINR del borde de la cobertura y por consiguiente la velocidad garantizada.

Para nuestro caso se tiene:

Radio de cobertura y Path_Loss obtenidos en la tabla 3.12 de acuerdo a cada área de cobertura. Luego se determina el mínimo nivel de señal, SINR en la recepción a partir de las siguientes fórmulas:

$$\text{Mín_Señal_Rx} = \text{PIRE} - \text{Path_Loss} - L_p - \text{SFM} \quad \dots (3.15)$$

$$\text{SINR} = \text{Mín_Señal_Rx} - \text{Pot_Noise_Rx} + G_{\text{Proc_HSDPA}} + G_{\text{antenna_Rx}} - L_b \quad (3.16)$$

Donde:

$$\text{PIRE} = P_{\text{out_BS}} - L_{f_BS} - L_b + G_{\text{antenna_Tx}} \quad \dots (3.17)$$

$$\text{Pot_Noise_Rx} = NKT_{\text{Rx}} + NF_{\text{Rx}} \quad \dots (3.18)$$

A continuación se muestra la tabla correspondiente con todos los parámetros del link Budget.

Tabla 3.14 Link Budget para HSDPA

	Denso Urbano	Urbano	Sub-Urbano	Rural	Carretera	Formula
Dirección de la señal	Downlink	Downlink	Downlink	Downlink	Downlink	
TRANSMISION						
Max Potencia de Transmisión del Nodo B (dBm)	43	43	43	43	43	a
Max Potencia HS-DSCH(dBm)	40.1	40	39	37	37	b
Pérdida de Cable Tx (dB)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	c
Pérdida por el cuerpo TX(dB)	0	0	0	0	0	d
Ganancia de antena Tx (dBi)	18	18	18	18	18	e
PIRE (dBm)	57.6	57.5	56.5	54.5	54.5	f = b-c-d+e
RECEPCIÓN						
Ganancia de la antena Rx (dBi)	0	0	0	0	0	g
Pérdida de Cable Rx (dB)	0	0	0	0	0	h
Pérdida por el cuerpo RX(dB)	1	1	1	1	1	i
Figura de Ruido (dB)	7	7	7	7	7	j
SINR requerido (dB)	5.13	7.42	8.73	7.71	7.71	k=p-l-n+t+g-i+o
Ganancia de Procesamiento HSDPA	12.04	12.04	12.04	12.04	12.04	t=10*log(16)
Potencia de Ruido en el Receptor (dB)	-101.13	-101.13	-101.13	-101.13	-101.13	l=10*log(KTW)+j
Carga del Sistema	0.72	0.7	0.6	0.5	0.5	m
Factor de no ortogonalidad en el borde de cobertura	0.55	0.66	0.72	0.54	0.56	w
Margen de Interferencia IM (dB)	5.53	5.23	3.98	3.01	3.01	n=-10*log(1-m)
Margen por Desvanecimiento rápido FFM (dB)	0	0	0	0	0	o
Min.nivel de señal en la recepción (dBm)	-101.51	-99.53	-99.47	-101.46	-101.46	p=f-s-q-r
MAXIMA PÉRDIDA DE PROPAGACIÓN - PATH LOSS						
Pérdida por penetración (dB)	22	20	15	10	6	q
Margen por Desvanecimiento lento SFM (dB)	14.11	10.68	7.52	5.84	5.84	r
Path loss (dB)	123.00	126.35	133.45	140.12	144.12	s
RADIO DE LA CELDA						
Tamaño de la antena del UE (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
Tamaño de la antena del Nodo B (m)	28	28	38	52	52	
Frecuencia (MHz)	1970	1970	1970	1970	1970	
Modelo de Propagación usado	Cost231 - Hata	Cost231 - Hata	Cost231 - Hata	Cost231 - Hata	Cost231 - Hata	
Radio de cobertura (km)	0.31	0.47	1.42	4.16	5.47	
CALCULO DEL VELOCIDAD EN EL BORDE DE LA CELDA						
Velocidad de la celda en el borde de cobertura Mbps (haciendo uso de 5 códigos)	0.49	0.71	0.85	0.74	0.74	x=función(k)

Elaboración propia

Como se observa, la velocidad de descarga en el borde de cobertura de las celdas es inferior a las velocidades teóricas, por ello, se va a determinar el radio de cobertura máximo para una velocidad superior a 2Mbps (velocidad de descarga de Release 99). De acuerdo a la fórmula del SINR, se puede determinar que para una velocidad de 2Mbps se requiere que el SINR tenga el valor de 17. Luego se procede de manera similar con los anteriores casos para determinar el radio de cobertura.

Tabla 3.15 Cobertura para velocidades de transmisión mayores de 2Mbps para HSDPA

	Denso Urbano	Urbano	Sub-Urbano	Rural	Carretera	Formula
Dirección de la señal	Downlink	Downlink	Downlink	Downlink	Downlink	
CALCULO DEL RADIO DE COBERTURA PARA TENER UNA VELOCIDAD MAYOR A 2Mbps						
Velocidad mínimo 2Mbps	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
SINR Requerido	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	k=funcion(x)
Min.nivel de señal en la recepción requerida (dBm)	-89.65	-89.95	-91.20	-92.16	-92.16	p=k+n+o+l-t-g+i
Path loss (dB)	111.14	116.77	125.18	130.82	134.82	s=f-p-q-r
Modelo de Propagación usado	Cost231 - Hata	Cost231 - Hata	Cost231 - Hata	Cost231 - Hata	Cost231 - Hata	
Radio de cobertura (km)	0.14	0.25	0.82	2.20	2.90	

Elaboración propia

e) HSUPA Link Budget

De manera similar que el caso anterior, se va a determinar la velocidad de upload (carga) en el borde de cobertura de la celda. Para este caso la sensibilidad del receptor se va a determinar bajo la siguiente expresión:

$$S_{BS} = TND + NF + ROT + 10\log(\text{Data Rate}) + EbNo \quad \dots (3.19)$$

Donde:

TND: Densidad de ruido térmico cuyo valor es -174dBm/Hz.

NF : Figura de ruido.

ROT: Parámetro que depende de la carga, para facilitar los cálculos su expresión será similar al IM.

Para los cálculos se va a considerar un EbNo de 4.8dB de acuerdo a las simulaciones realizadas sobre HSUPA, para un usuario a una velocidad de 3Km/hora y con un umbral de 1% para el BLER. A continuación se muestra la tabla con los parámetros de Link Budget.

Tabla 3.15 Link Budget para HSUPA

	Denso Urbano	Urbano	Sub-Urbano	Rural	Carretera	Formula
Dirección de la señal	Uplink	Uplink	Uplink	Uplink	Uplink	
TRANSMISION						
Max Potencia de Transmisión del Nodo B (dBm)	43	43	43	43	43	
Max Potencia TCH (dBm)	24	24	24	24	24	b
Pérdida de Cable Tx (dB)	0	0	0	0	0	c
Pérdida por el cuerpo TX(dB)	1	1	1	1	1	d
Ganancia de antena Tx (dBi)	0	0	0	0	0	e
Potencia de Back Off	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	t
TTI (ms) del UE	10	10	10	10	10	
PIRE (dBm)	21.50	21.50	21.50	21.50	21.50	f = b-c-d+e-t
RECEPCIÓN						
Ganancia de la antena Rx (dBi)	18	18	18	18	18	g
Pérdida de Cable Rx (dB)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	h
Pérdida por el cuerpo RX(dB)	0	0	0	0	0	i
Figura de Ruido (dB)	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	j=h+1.6
Potencia de Ruido en el Receptor (dB)	-106.03	-106.03	-106.03	-106.03	-106.03	u=-174+j+10*log10(3840000)
Sensibilidad del Receptor (dBm)	-116.29	-115.43	-115.53	-116.15	-116.15	l=b-n-o+g-i
Carga del Sistema	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	m
Factor de no ortogonalidad en el borde de cobertura	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Margen de Interferencia IM (dB) o ROT	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	n=-10*log10(1-m)
Margen por Desvanecimiento rápido FFM (dB)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	o
Min.nivel de señal en la recepción (dBm)	-131.08	-130.22	-130.32	-130.94	-130.94	p=f-s-q-r
MAXIMA PÉRDIDA DE PROPAGACIÓN - PATH LOSS						
Pérdida por penetración (dB)	22	20	15	10	6	q
Margen por Desvanecimiento lento SFM (dB)	8.19	5.98	3.98	2.93	2.93	r
Path loss (dB)	122.39	125.74	132.84	139.51	143.51	s=funcion(Hb,frec,dist)
RADIO DE LA CELDA						
Tamaño de la antena del UE (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
Tamaño de la antena del Nodo B (m)	28	28	38	52	52	
Frecuencia (MHz)	1890	1890	1890	1890	1890	
Modelo de Propagación usado	Cost231-Hata	Cost231-Hata	Cost231-Hata	Cost231-Hata	Cost231-Hata	
Radio de cobertura (km)	0.31	0.47	1.42	4.16	5.47	
CALCULO DEL VELOCIDAD EN EL BORDE DE LA CELDA						
EbNo requerido	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	v
Velocidad de uplink en el borde de cobertura kbps	60.19	73.50	71.83	62.25	62.25	w =funcion(v,l,j)

Elaboración propia

Como se observa, la velocidad de upload en el borde de cobertura de las celdas es inferior a las velocidades teóricas, por ello, se va a determinar el radio de cobertura máximo para una velocidad superior a 384Kbps (velocidad de upload de Release 99).

Tabla 3.15 Cobertura para velocidades de transmisión mayores de 384Kbps para HSUPA

	Denso Urbano	Urbano	Sub-Urbano	Rural	Carretera	Formula
Dirección de la señal	Uplink	Uplink	Uplink	Uplink	Uplink	
CALCULO DEL RADIO PARA UNA VELOCIDAD MINIMA DE 384Kbps						
Velocidad mínima requerida (Kbps)	384	384	384	384	384	
EbNo requerido	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	v
Sensitividad del Receptor requerido (dBm)	-108,25	-108,25	-108,25	-108,25	-108,25	$I=-174+j+n+v+10\log(y)+30$
Mín.nivel de señal en la recepción (dBm)	-123,04	-123,04	-123,04	-123,04	-123,04	$p=I+n+o-g+i$
Path loss (dB)	114,35	118,56	125,56	131,61	135,61	
Modelo de Propagación usado	Cost231-Hata	Cost231-Hata	Cost231-Hata	Cost231-Hata	Cost231-Hata	
Radio de cobertura (km)	0.18	0.29	0.88	2.42	3.19	

Elaboración propia

Una vez obtenido el radio de cobertura de la celda, se puede determinar el área de cobertura de la misma mediante la siguiente fórmula:

$$Area_Cobertura = \frac{9 \times \sqrt{3} \times R^2}{8} \quad \dots(3.20)$$

En Conclusión se va a tener el siguiente cuadro con el radio de cobertura, área de cobertura y velocidades mínimas en el borde de cobertura.

Tabla 3.16 Cuadro Resumen de cobertura por cada servicio

	Denso Urbano		Urbano		Sub Urbano		Rural		Carretera	
	Radio (km) basado en	Radio (km) basado en	Radio (km) basado en	Radio (km) basado en	Radio (km) basado en	Radio (km) basado en	Radio (km) basado en	Radio (km) basado en	Radio (km) basado en	Radio (km) basado en
Radio (km)	0.43	0.31	0.72	0.47	2.19	1.42	6.67	4.16	8.36	5.47
Radio de Cobertura (km)	0.31		0.47		1.42		4.16		5.47	
Área de Cobertura (km ²)	0.19		0.42		3.90		33.35		57.64	
Umbral outdoor de RSCP (dBm)	-83.76		-84.69		-89.96		-95.75		-99.75	
Ec/Io (dB)	-12.00		-11.50		-11.20		-11.20		-11.20	
Velocidad de download HSDPA en el borde de cobertura (kbit/s)	489.09		709.92		854.77		740.54		740.54	
Velocidad de upload HSUPA en el borde de cobertura (kbit/s)	60.19		73.50		71.83		62.25		62.25	
Potencia de transmisión del UE (dBm)	21.00		21.00		21.00		21.00		21.00	
Potencia de transmisión del Datacard (dBm)	24.00		24.00		24.00		24.00		24.00	

Elaboración propia

3.3.5 Cálculo del número de Nodos B

Considerando que la morfología de la ciudad de Cajamarca es sub-urbana cuya superficie es aproximadamente 28 km² entonces para cubrir la ciudad se requiere de:

$$\text{NúmeroDeNodos} = \frac{28}{3.90} = 7.17 \quad \dots(3.21)$$

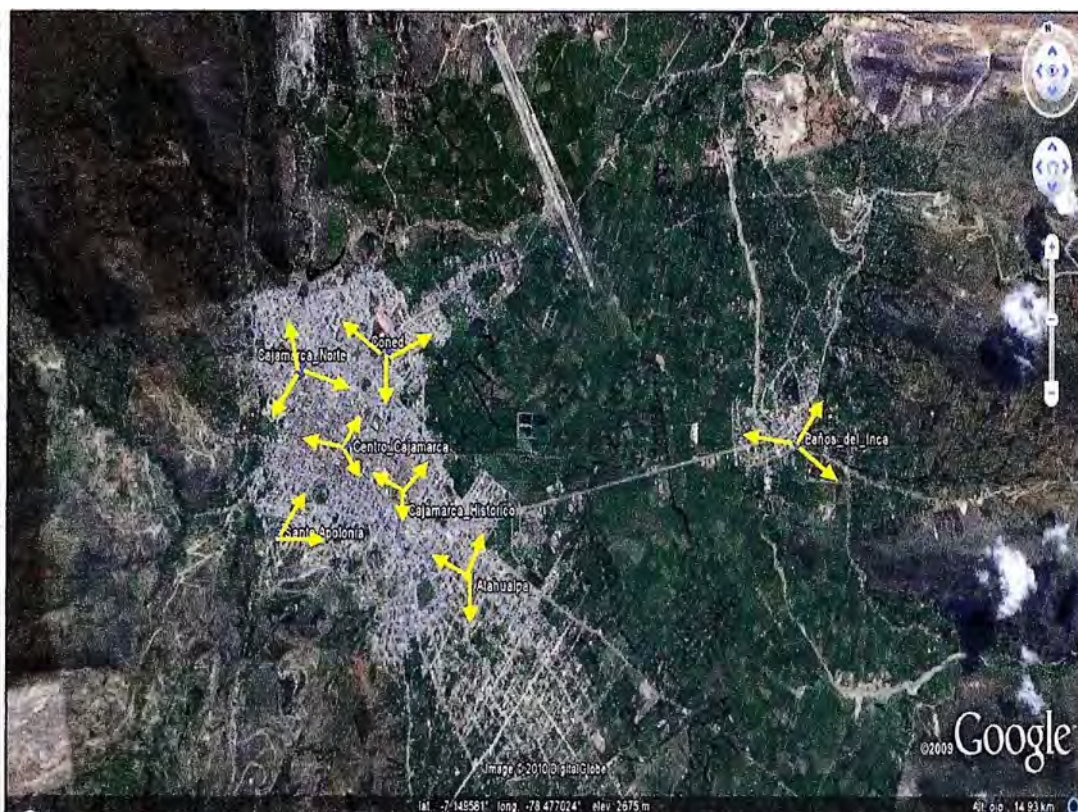
Según la fórmula 3.21 se requerirá 7 Nodos aproximadamente para brindar cobertura a la ciudad de Cajamarca. Para el caso de la mina Yanacocha, se propondrá 4 Nodos los cuales van a cubrir sus oficinas y las zonas de excavación de la mina. Los parámetros de radiofrecuencia (acimuth y tilts) han sido propuestos de acuerdo a la zona principal donde se desea cubrir.

Los Nodos a considerar son los que se muestra en la siguiente tabla

Tabla 3.17 Parámetros de los Nodos B

Nombre	Sector	Latitud	Longitud	Altura	Azimuth	Tilt	Area de cobertura	Zona a cubrir
Centro_Cajamarca	1	-7.158314	-78.516434	28	30	4	Urbana	Centro de la ciudad
Centro_Cajamarca	2	-7.158314	-78.516434	28	150	4	Urbana	Centro de la ciudad
Centro_Cajamarca	3	-7.158314	-78.516434	28	270	3	Urbana	Centro de la ciudad
Santa Apolonia	1	-7.163587	-78.525073	52	30	3	Rural - Carretera	Nor-este de la ciudad y carretera a Yanacocha
Santa Apolonia	2	-7.163587	-78.525073	52	90	6	Sub urbana	Sur - Oeste de la ciudad
Cajamarca_Historico	1	-7.163563	-78.510667	38	40	3	Sub urbana	Ciudad sub-urbanizada
Cajamarca_Historico	2	-7.163563	-78.510667	38	180	3	Sub urbana	Ciudad sub-urbanizada
Cajamarca_Historico	3	-7.163563	-78.510667	38	300	3	Sub urbana	Ciudad sub-urbanizada
Atahualpa	1	-7.171285	-78.503657	52	30	3	Sub urbana	UNC y carretera a Baños del Inca
Atahualpa	2	-7.171285	-78.503657	52	180	3	Rural	Sur de Cajamarca - Clubes campestres
Atahualpa	3	-7.171285	-78.503657	52	300	3	Sub urbana	Ciudad sub-urbanizada
Baños_del_Inca	1	-7.166152	-78.463342	38	30	3	Sub urbana	Baños del Inca
Baños_del_Inca	2	-7.166152	-78.463342	38	130	2	Rural - Carretera	Poblados aledaños
Baños_del_Inca	3	-7.166152	-78.463342	38	280	2	Sub urbana - Carretera	Baños del Inca y carretera a Cajamarca
Coned	1	-7.151936	-78.510553	38	60	3	Sub urbana - Carretera	Carretera a aeropuerto
Coned	2	-7.151936	-78.510553	38	180	3	Sub urbana	Ciudad sub-urbanizada
Coned	3	-7.151936	-78.510553	38	310	3	Sub urbana	Centro Comercial El Conde
Cajamarca_Norte	1	-7.151366	-78.520732	38	110	3	Sub urbana	Ciudad sub-urbanizada
Cajamarca_Norte	2	-7.151366	-78.520732	38	210	3	Sub urbana	Ciudad sub-urbanizada
Cajamarca_Norte	3	-7.151366	-78.520732	38	350	2	Sub urbana	Carretera a Yanacocha
Km_24_Yanacocha	1	-7.060085	-78.591221	52	130	4	Carretera	Carretera a Cajamarca
Km_24_Yanacocha	2	-7.060085	-78.591221	52	200	4	Carretera	Carretera a Cajamarca
Km_24_Yanacocha	3	-7.060085	-78.591221	52	320	2	Carretera- Sub urbana	Oficinas Km 24
Cerro_Negro	1	-7.012584	-78.59067	52	60	4	Sub urbana	Campamento minero
Cerro_Negro	2	-7.012584	-78.59067	52	180	3	Carretera	Carretera a Km 24
Cerro_Negro	3	-7.012584	-78.59067	52	350	2	Rural	Centro de operaciones de la mina
Cerro_Mirador	1	-6.979477	-78.507588	72	50	4	Rural	Centro de operaciones de la mina
Cerro_Mirador	2	-6.979477	-78.507588	72	130	5	Rural	Centro de operaciones de la mina
Cerro_Mirador	3	-6.979477	-78.507588	72	300	6	Rural	Centro de operaciones de la mina
Km_45	1	-6.962764	-78.529913	52	65	0	Rural	Centro de operaciones de la mina
Km_45	2	-6.962764	-78.529913	52	230	10	Rural	Centro de operaciones de la mina

Elaboración propia



Elaboración propia

Figura 3.2 Distribución de los Nodos B en la ciudad de Cajamarca



Elaboración propia

Figura 3.3 Distribución de los Nodos B para el yacimiento minero de Yanacocha

3.4 Diseño Final a nivel de Radio Frecuencia - RF

3.4.1 Dimensionamiento del Tráfico de los Nodos B

Para calcular el tráfico de cada celda se debe tener en cuenta la cantidad de suscriptores y el tipo de plan que han adquirido, adicionalmente la cantidad de minutos que hacen uso de la red en la hora pico. En resumen se tienen los siguientes datos:

Factor de Carga Mensual (FCM): Cantidad de días durante el mes que el usuario va a ser uso de la red. Para nuestro caso se ha considerado 22 días.

Tráfico en BH (TBH): Porcentaje de usuarios que se conectan en la hora cargada. Para nuestro caso se ha considerado 10% para voz y 5% para datos.

Tiempo de Medición (TM): La hora cargada consta de 60 minutos.

Minutos Mensuales de Uso para Voz (MinMonth): Depende de cada plan y es la suma de las llamadas on-net y off-net; para el caso de los planes Ejecutivo y Business A-1, se ha considerado que consumen para llamadas on-net un total de 200 y 300 minutos mensuales respectivamente. Para el servicio de Video-llamadas depende del plan a utilizar.

Minutos de descarga para datos en la BH (MinPS): Depende de cada plan y se ha considerado de acuerdo al perfil del usuario y el tipo de archivo que usualmente descarga. En la tabla 3.18 se puede observar los datos.

Porcentaje de UL y DL para Datos (PSUL, PSDL): Los usuarios mayormente hacen uso de la red para descargar datos de la misma, por lo que, se ha considerado que el 90% de los paquetes transferidos va en el sentido de bajada y el 10% en subida.

Porcentaje de uso de PS-64, PS-128, PS-384, HSPA (PerPS): Como se explicó en el capítulo uno, la tecnología HSPA hace un uso mas eficiente de la red, por lo que se ha considerado que el 85% del tráfico de paquetes utilizan esta tecnología y el resto de tráfico se reparte en PS de Release 99 de acuerdo a la velocidad de transferencia ofrecida en su respectivo plan.

Throughput promedio para PS-64, PS-128, PS-384, HSPA ($Throughput_{AVERi}$): Indica la velocidad de transferencia promedio para cada servicio y depende del plan de acuerdo a la tabla siguiente.

En resumen se tiene la siguiente tabla:

Tabla 3.18 Características del tráfico según cada Plan

Plan /Datos	Plan 3G	Plan Joven	Plan Ejecutivo	Plan Internet	Plan Internet Empresarial	Plan Business A-1
Voz on - net (min)	50	100	Ilimitado	No	No	Ilimitado
Voz off - net (min)	10	20	100	No	No	200
Video llamada (min)	10	20	20	No	No	30
Factor de Carga Mensual	22	22	22	22	22	22
Tráfico en BH para Voz	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
Tiempo de Medición (min)	60	60	60	60	60	60
Tráfico en BH para Datos	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
% Datos en PS 64kbps	5.00%	5.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
% Datos en PS 128kbps	5.00%	5.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
% Datos en PS 384kbps	5.00%	5.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
% Datos en PS HSPA	85.00%	85.00%	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%
Promedio de minutos ilimitado para Ejecutivos	N.A	N.A	200	N.A	N.A	N.A
Promedio de minutos ilimitado para Business	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	300
Tráfico en DL en PS	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%
Tráfico en UL en PS	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
Minutos de datos en la Busy Hour (min)	2	5	5	7	7	5
Throughput promedio para PS 64	50	50	50	50	50	50
Throughput promedio para PS 128	100	100	100	100	100	100
Throughput promedio para PS 384	100	300	300	300	300	300
Throughput promedio para HSPA	100	300	1200	1200	1500	1500

Elaboración propia

Entonces tenemos que para CS el tráfico para un Nodo B se mide mediante la siguiente fórmula:

$$TrafficPerNodoB = \frac{\sum N_{USERj} \times MinMonth_j \times TBH}{TM \times FCM} \quad \dots (3.22)$$

Donde:

N_{USERj} : Número de usuarios del plan j

Para PS se tiene la siguiente fórmula para cada servicio i (PS-64, PS-128, PS-384, HSPA):

$$TrafficPerNodoBi = \frac{\sum N_{USERj} \times Throughput_{AVERi_i} \times TBH \times PerPS_i \times MinPSj}{TM} \quad \dots (3.23)$$

Para obtener el tráfico por celda de cada nodo B se ha considerado distribuir el tráfico del Nodo respectivo de acuerdo al área de cobertura de cada sector, así tenemos la siguiente tabla:

Tabla 3.19 Distribución del tráfico para cada celda

Nombre	Sector	Celld	Azimuth	Porcentaje de Tráfico
Centro_Cajamarca	1	11	30	33.33%
Centro_Cajamarca	2	12	150	33.33%
Centro_Cajamarca	3	13	270	33.33%
Santa_Apolonia	1	21	30	50.00%
Santa_Apolonia	2	22	90	50.00%
Cajamarca_Historico	1	31	40	33.33%
Cajamarca_Historico	2	32	180	33.33%
Cajamarca_Historico	3	33	300	33.33%
Atahualpa	1	41	30	33.33%
Atahualpa	2	42	180	33.33%
Atahualpa	3	43	300	33.33%
Baños_del_Inca	1	51	30	40.00%
Baños_del_Inca	2	52	130	40.00%
Baños_del_Inca	3	53	280	20.00%
Coned	1	61	60	40.00%
Coned	2	62	180	20.00%
Coned	3	63	310	40.00%
Cajamarca_Norte	1	71	110	40.00%
Cajamarca_Norte	2	72	210	40.00%
Cajamarca_Norte	3	73	350	20.00%
Km_24_Yanacocha	1	81	130	12.50%
Km_24_Yanacocha	2	82	200	62.50%
Km_24_Yanacocha	3	83	320	25.00%
Cerro_Negro	1	91	60	40.00%
Cerro_Negro	2	92	180	40.00%
Cerro_Negro	3	93	350	20.00%
Cerro_Mirador	1	101	50	14.29%
Cerro_Mirador	2	102	130	42.86%
Cerro_Mirador	3	103	300	42.86%
Km_45	1	111	65	33.33%
Km_45	2	112	230	66.67%

Elaboración propia

Por lo cual el tráfico por celda es:

$$TrafficPerCell_i = TrafficPerNodoB_i \times PerTraffic \quad \dots(3.24)$$

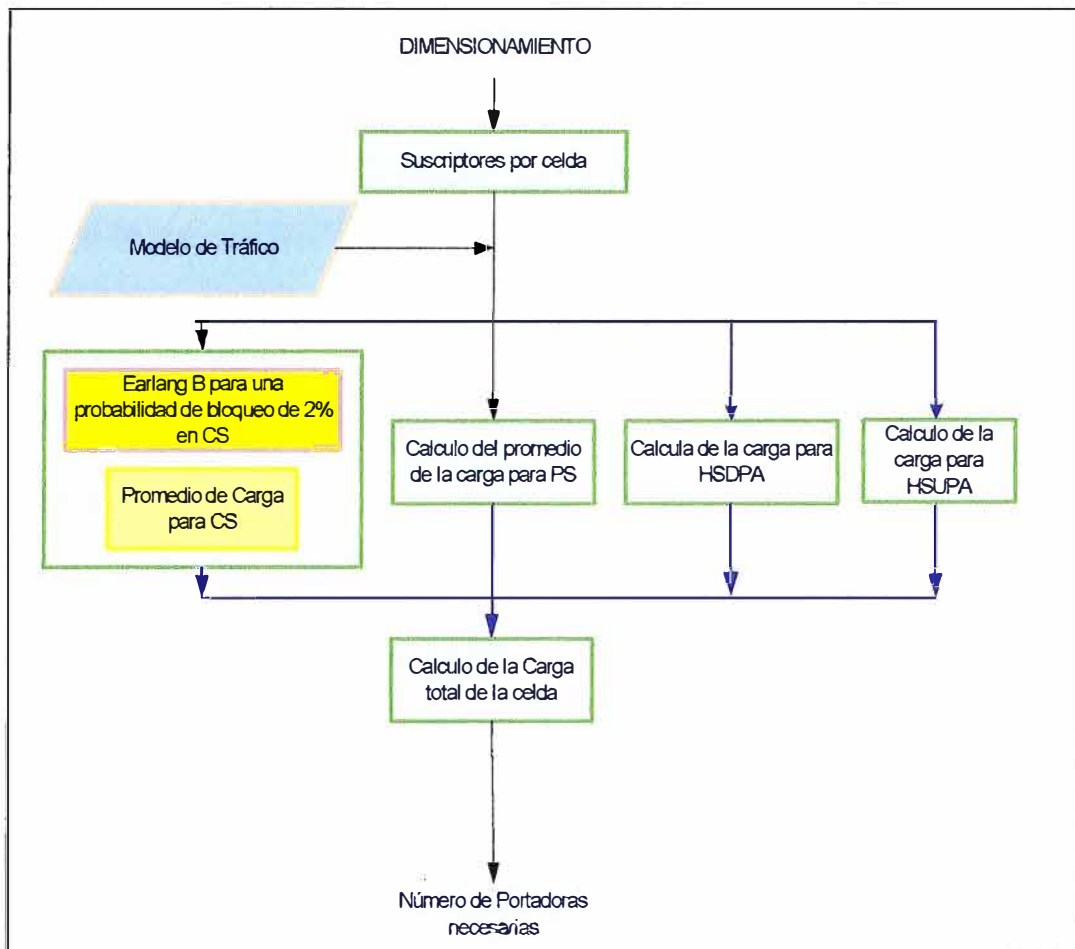
Donde:

PerTraffic : Porcentaje de Tráfico del NodoB con respecto a uno de sus sectores. Los valores son los mostrados en la quinta columna de la tabla 3.19.

Luego, realizando los cálculos según el número de usuarios y el plan de servicio propuesto se tienen los resultados para los años 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014. Se va a mostrar los resultados para el año 2010.

Tabla 3.20 Tráfico de los Nodos B para el año 2010 – Primer año de funcionamiento

Datos de la Celda		Tráfico 2010									
Nodo B	Sector	Erlang para Servicio de Voz	Erlang VideoLlamada en CS64kbps	Datos en PS DL 64kbps	Datos en PS DL 128kbps	Datos en PS DL 384kbps	Datos en HSDPA	Datos en PS UL 64kbps	Datos en PS UL 128kbps	Datos en PS UL 384kbps	Datos en HSUPA
Centro_Cajamarca	1	0.94	0.08	0.17	0.33	23.53	857.68	0.02	0.04	2.61	95.30
Centro_Cajamarca	2	0.94	0.08	0.17	0.33	23.53	857.68	0.02	0.04	2.61	95.30
Centro_Cajamarca	3	0.94	0.08	0.17	0.33	23.53	857.68	0.02	0.04	2.61	95.30
Santa_Apolonia	1	0.67	0.08	0.31	0.62	19.70	700.05	0.03	0.07	2.19	77.78
Santa_Apolonia	2	0.67	0.08	0.31	0.62	19.70	700.05	0.03	0.07	2.19	77.78
Cajamarca_Historico	1	0.56	0.06	0.20	0.39	15.36	552.18	0.02	0.04	1.71	61.35
Cajamarca_Historico	2	0.56	0.06	0.20	0.39	15.36	552.18	0.02	0.04	1.71	61.35
Cajamarca_Historico	3	0.56	0.06	0.20	0.39	15.36	552.18	0.02	0.04	1.71	61.35
Atahualpa	1	0.49	0.06	0.22	0.45	13.29	471.37	0.02	0.05	1.48	52.37
Atahualpa	2	0.49	0.06	0.22	0.45	13.29	471.37	0.02	0.05	1.48	52.37
Atahualpa	3	0.49	0.06	0.22	0.45	13.29	471.37	0.02	0.05	1.48	52.37
Baños_del_Inca	1	1.02	0.09	0.20	0.40	26.07	948.26	0.02	0.04	2.90	105.36
Baños_del_Inca	2	1.02	0.09	0.20	0.40	26.07	948.26	0.02	0.04	2.90	105.36
Baños_del_Inca	3	0.51	0.04	0.10	0.20	13.04	474.13	0.01	0.02	1.45	52.68
Coned	1	0.94	0.09	0.26	0.51	24.60	886.61	0.03	0.06	2.73	98.51
Coned	2	0.47	0.04	0.13	0.26	12.30	443.31	0.01	0.03	1.37	49.26
Coned	3	0.94	0.09	0.26	0.51	24.60	886.61	0.03	0.06	2.73	98.51
Cajamarca_Norte	1	0.73	0.08	0.26	0.53	16.80	601.87	0.03	0.06	1.87	66.87
Cajamarca_Norte	2	0.73	0.08	0.26	0.53	16.80	601.87	0.03	0.06	1.87	66.87
Cajamarca_Norte	3	0.37	0.04	0.13	0.26	8.40	300.94	0.01	0.03	0.93	33.44
Km_24_Yanacocha	1	0.43	0.03	0.00	0.00	2.38	97.60	0.00	0.00	0.26	10.84
Km_24_Yanacocha	2	2.15	0.14	0.00	0.00	11.89	487.98	0.00	0.00	1.32	54.22
Km_24_Yanacocha	3	0.86	0.05	0.00	0.00	4.76	195.19	0.00	0.00	0.53	21.69
Cerro_Negro	1	0.94	0.06	0.00	0.00	5.50	225.50	0.00	0.00	0.61	25.06
Cerro_Negro	2	0.94	0.06	0.00	0.00	5.50	225.50	0.00	0.00	0.61	25.06
Cerro_Negro	3	0.47	0.03	0.00	0.00	2.75	112.75	0.00	0.00	0.31	12.53
Cerro_Mirador	1	0.35	0.02	0.00	0.00	2.05	83.41	0.00	0.00	0.23	9.27
Cerro_Mirador	2	1.06	0.07	0.00	0.00	6.14	250.72	0.00	0.00	0.68	27.80



Elaboración propia

Figura 3.4 Esquema para el cálculo de la capacidad de la celda

a) Cálculo de la carga en CS

Cálculo de promedio de la carga en CS $Load_{CS-avg}$

De acuerdo al perfil del tráfico y al número de suscriptores se obtiene la carga promedio, a través de las siguientes fórmulas:

Carga promedio para CS en el uplink es:

$$Load_{CS-avg} = \sum_i TrafficPerCell_i \times LoadPerConnection_{UL-i} \quad \dots (3.25)$$

Y para el downlink se debe considerar el ratio de SHO

$$Load_{CS-avg} = \sum_i TrafficPerCell_i \times LoadPerConnection_{DL-i} \times (1 + R_{SHO}) \quad \dots (3.26)$$

Donde:

$LoadPerConnection_{UL-i/DL-i}$ Carga promedio por conexión dependiendo del sentido y servicio. Ver tabla 3.21 y 3.22

R_{SHO} : El Sof handover overhead que indica el número de links adicionales promedio en el active set, valor estándar de 40%

Cálculo para la hora pico en CS $Load_{CS-peak}$

Teniendo los resultados del caso anterior, se aplica la fórmula de ErlangB con una probabilidad de bloqueo de 2% para estimar la carga pico de acuerdo a los requerimientos de probabilidad de bloqueo.

Carga Pico para uplink

$$Load_{CS-peak} = ErlangB\left(\sum_i TrafficPerCell_i, 2\%\right) \times LoadPerConnection_{UL-i} \dots (3.27)$$

Carga Pico para downlink

$$Load_{CS-peak} = ErlangB\left(\sum_i TrafficPerCell_i, 2\%\right) \times LoadPerConnection_{DL-i} \times (1 + R_{SHO}) \dots (3.28)$$

b) Cálculo de la carga para PS de Release 99

Se calcula la carga promedio a través de la fórmula 3.29. Se mostrará el análisis para uplink, en el caso de downlink se debe de considerar el ratio de SHO overhead.

$$Load_{PS-Avg} = \sum_i N_{channels-i} \times LoadPerConnection_{UL-i} \dots (3.29)$$

Donde

$N_{channels-i}$: Número de canales equivalentes para el servicio i

$$N_{channels-i} = \frac{TrafficPerCell_i \times (1 + R_{Retransmission-i}) \times (1 + R_{Burstiness})}{\rho_i \times R_i} \dots (3.30)$$

$R_{Retransmission-i}$: Retransmisión de la data en PS para el servicio i . Se ha considerado el valor de 1.01% (Fuente: Huawei)

$R_{Burstiness}$: Ratio de ráfaga para PS. Se ha considerado el valor de 0.00% (Fuente: Huawei).

ρ_i : Factor de actividad del servicio i . Depende del servicio, se ha considerado el valor de 0.90 (Fuente: Huawei).

R_i : Tasa de transferencia del servicio i . Depende del servicio y son 64, 128 y 384 según corresponda.

Tabla 3.21 Parámetros para el cálculo de la Carga en el Uplink

Área de Cobertura	Parámetros de Capacidad UL	Factor de actividad	PS Retransmisión (%)	PS Burst (%)	Carga por Usuario
Denso Urbano	AMR 12.2	0.63	-	-	1.12%
	CS 64	1.00	-	-	4.99%
	PS 64	0.90	1.01%	0.00%	4.21%
	PS 128	0.90	1.01%	0.00%	8.58%
	PS 384	0.90	1.01%	0.00%	20.69%
Urbano	AMR 12.2	0.63	-	-	1.20%
	CS 64	1.00	-	-	5.83%
	PS 64	0.90	1.01%	0.00%	4.82%
	PS 128	0.90	1.01%	0.00%	9.57%
	PS 384	0.90	1.01%	0.00%	23.32%
Sub Urbano	AMR 12.2	0.63	-	-	1.20%
	CS 64	1.00	-	-	5.83%
	PS 64	0.90	1.01%	0.00%	4.82%
	PS 128	0.90	1.01%	0.00%	9.57%
	PS 384	0.90	1.01%	0.00%	23.32%
Rural	AMR 12.2	0.63	-	-	0.91%
	CS 64	1.00	-	-	4.99%
	PS 64	0.90	1.01%	0.00%	4.21%
	PS 128	0.90	1.01%	0.00%	7.69%
	PS 384	0.90	1.01%	0.00%	19.47%
Carretera	AMR 12.2	0.63	-	-	1.07%
	CS 64	1.00	-	-	5.58%
	PS 64	0.90	1.01%	0.00%	4.50%
	PS 128	0.90	1.01%	0.00%	8.40%
	PS 384	0.90	1.01%	0.00%	20.27%

Fuente: Huawei

Tabla 3.22 Parámetros para el cálculo de la Carga en el Downlink

Área de Cobertura	Parámetros de Capacidad DL	Factor de actividad	PS Retransmisión (%)	PS Burst (%)	Carga por Usuario
Denso Urbano	AMR 12.2	0.56	-	-	0.79%
	CS 64	1.00	-	-	5.21%
	PS 64	0.90	1.01%	0.00%	3.90%
	PS 128	0.90	1.01%	0.00%	6.57%
	PS 384	0.90	1.01%	0.00%	19.03%
Urbano	AMR 12.2	0.56	-	-	0.81%
	CS 64	1.00	-	-	5.01%
	PS 64	0.90	1.01%	0.00%	3.93%
	PS 128	0.90	1.01%	0.00%	6.84%
	PS 384	0.90	1.01%	0.00%	20.06%
Sub Urbano	AMR 12.2	0.56	-	-	0.70%
	CS 64	1.00	-	-	4.33%
	PS 64	0.90	1.01%	0.00%	3.39%
	PS 128	0.90	1.01%	0.00%	5.91%
	PS 384	0.90	1.01%	0.00%	17.32%
Rural	AMR 12.2	0.56	-	-	0.62%
	CS 64	1.00	-	-	4.14%
	PS 64	0.90	1.01%	0.00%	3.40%
	PS 128	0.90	1.01%	0.00%	5.65%
	PS 384	0.90	1.01%	0.00%	14.77%
Carretera	AMR 12.2	0.56	-	-	0.60%
	CS 64	1.00	-	-	3.69%
	PS 64	0.90	1.01%	0.00%	2.76%
	PS 128	0.90	1.01%	0.00%	4.92%
	PS 384	0.90	1.01%	0.00%	13.78%

Fuente: Huawei

c) Cálculo de la carga para HSDPA y HSUPA

El dimensionamiento para calcular la carga para HSDPA y HSUPA depende de la velocidad de transmisión promedio de la celda, el cual a su vez depende del tráfico de la

misma. Por ello, primero se calcula el throughput teniendo como input el tráfico mediante la fórmula 3.31 y luego se determina la carga mediante las tablas 3.23 y 3.24.

$$\text{ThroughputPerCell} = \text{TrafficPerCell}_{\text{HSPA}} \times (1 + R_{\text{Re transmission}}) \times (1 + R_{\text{Burstiness}}) \dots (3.31)$$

Donde:

$R_{\text{Re transmission}}$: Retransmisión de la data en HSPA. Se ha considerado el valor de 11.11% (Fuente: Huawei)

$R_{\text{Burstiness}}$: Ratio de ráfaga para HSPA. Se ha considerado el valor de 0.00% (Fuente: Huawei).

Tabla 3.23: Relación del throughput (velocidad de transmisión) versus la carga para HSDPA

Throughput por Celda (Mbps)	Carga HSDPA (%)
0.175	5.74%
0.35	7.23%
0.525	7.23%
0.7	7.23%
0.875	8.70%
1.05	10.20%
1.225	10.20%
1.4	11.68%
1.575	13.16%
1.75	14.65%
1.925	16.13%
2.1	17.62%
2.275	19.10%
2.45	20.59%
2.625	23.55%
2.8	25.00%
2.975	26.50%
3.15	28.00%
3.325	30.90%
3.5	33.90%
3.675	35.40%
3.85	38.40%
4.025	39.90%
4.2	42.80%
4.375	45.80%
4.55	48.80%
4.725	51.80%
4.865	53.00%

Fuente: Huawei

Tabla 3.24: Relación del throughput (velocidad de transmisión) versus la carga para HSUPA

Throughput por Celda (Mbps)	Carga HSUPA (%)
0.4	7.00%
0.8	12.00%
1.2	16.00%
1.6	23.00%
2	29.00%
2.4	32.00%
2.8	38.00%
3.2	43.00%
3.6	48.00%
4	52.00%
4.4	57.00%

Fuente: Huawei

d) Carga Total

Para los efectos de dimensionamiento, se va a considerar que el tráfico en PS y en HSPA tiene características de best effort, es decir que ambos pueden utilizar los recursos cuando estén disponibles pero no se garantiza una probabilidad de bloqueo, mientras que para CS se requiere tener en cuenta una probabilidad de bloqueo en la hora pico asegurando la calidad de la misma, no obstante también se tomará en cuenta la carga promedio sin el requerimiento de probabilidad de bloqueo para agregarla a los otros servicios y considerar el mayor de ambos. En conclusión para obtener la carga total se calcula mediante la siguiente expresión.

$$Load_{cell-total_UL} = \max\{Load_{CS-peak}, Load_{CS-avg} + Load_{PS-avg} + Load_{HSUPA}\} \dots (3.32)$$

$$Load_{cell-total_DL} = \max\{Load_{CS-peak}, Load_{CS-avg} + Load_{PS-avg} + Load_{HSDPA}\} + Load_{CCH} \dots (3.33)$$

Donde

$Load_{CCH}$: Carga para el downlink de los canales comunes, se ha considerado un valor de 20% (Fuente: Huawei).

Por último, para conocer cuántas portadoras son necesarias para brindar servicio a todos los usuarios se aplica la siguiente fórmula para el downlink, para el uplink es de manera similar.

$$NumberCarrier_{DL} = \frac{Load_{cell-total_DL}}{Target_Load} \dots (3.34)$$

Donde

$Target_Load$: Carga umbral del sistema y depende del área de cobertura. Sus valores son los mismos que se utilizaron para el cálculo del link Budget.

Luego el número de portadoras necesarias es el número de portadoras mayor entre las necesarias para el downlink y para el uplink. Se mostrará la cantidad de portadoras necesarias por celda y por año luego de realizadas las operaciones del caso. Como se observará es necesaria una sola portadora para todas las celdas.

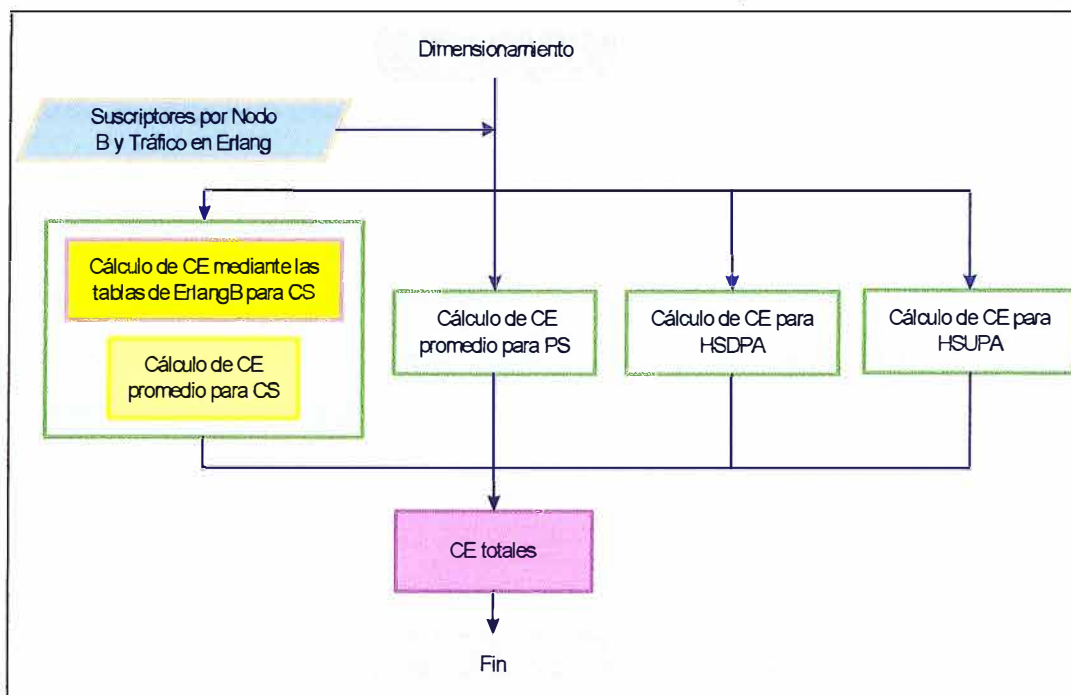
Tabla 3.25 Número de Portadoras para cada celda por cada año

Nodo B	Sector	Portadoras Requeridas en base a la Carga de la Celda				
		Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014
Centro_Cajamarca	1	1	1	1	1	1
Centro_Cajamarca	2	1	1	1	1	1
Centro_Cajamarca	3	1	1	1	1	1
Santa_Apolonia	1	1	1	1	1	1
Santa_Apolonia	2	1	1	1	1	1
Cajamarca_Historico	1	1	1	1	1	1
Cajamarca_Historico	2	1	1	1	1	1
Cajamarca_Historico	3	1	1	1	1	1
Atahualpa	1	1	1	1	1	1
Atahualpa	2	1	1	1	1	1
Atahualpa	3	1	1	1	1	1
Baños_del_Inca	1	1	1	1	1	1
Baños_del_Inca	2	1	1	1	1	1
Baños_del_Inca	3	1	1	1	1	1
Coned	1	1	1	1	1	1
Coned	2	1	1	1	1	1
Coned	3	1	1	1	1	1
Cajamarca_Norte	1	1	1	1	1	1
Cajamarca_Norte	2	1	1	1	1	1
Cajamarca_Norte	3	1	1	1	1	1
Km_24_Yanacocha	1	1	1	1	1	1
Km_24_Yanacocha	2	1	1	1	1	1
Km_24_Yanacocha	3	1	1	1	1	1
Cerro_Negro	1	1	1	1	1	1
Cerro_Negro	2	1	1	1	1	1
Cerro_Negro	3	1	1	1	1	1
Cerro_Mirador	1	1	1	1	1	1
Cerro_Mirador	2	1	1	1	1	1
Cerro_Mirador	3	1	1	1	1	1
Km_45	1	1	1	1	1	1
Km_45	2	1	1	1	1	1

Elaboración propia

3.4.3 Dimensionamiento de los Elementos de Canal - CE

Uno de los parámetros que se debe de tener en cuenta en la planificación de la capacidad de la red son los Elementos de Canal o CE por sus siglas en inglés, el cual es definido como los recursos de banda base requerido en el Nodo B para proveer un canal de tráfico de voz incluyendo la señalización en el plano de control, el modo comprimido, la diversidad de transmisión y el soft handover. Esta definición se extiende para los demás servicios en CS y PS, así como para HSDPA y HSUPA y el valor depende del proveedor. El procedimiento para dimensionar los CE total para un Nodo B es el siguiente:



Elaboración propia

Figura 3.4 Esquema para el cálculo de los CE del Nodo

La cantidad de CE utilizados por algunos servicios para Release 99 es como muestra la tabla 3.24

Tabla 3.26 CE por cada servicio para Release 99

Servicio	Factor CE para UL	Factor CE para DL
12.2kbit/s AMR	1	1
64 kbit/s CS	3	2
64 kbit/s PS	3	2
128 kbit/s PS	5	4
384 kbit/s PS	10	8

Fuente: Huawei

a) Cálculo de CE para CS

Cálculo de CE promedio para CS

Mediante la siguiente fórmula se determina el promedio de CE para CS. Se debe tener en cuenta que se tiene que realizar el cálculo para uplink y downlink separadamente.

$$CE_{CS_avg} = \sum TrafficPerNodeB_i \times CEFactor_i \times (1 + R_{SHO}) \dots (3.35)$$

Donde:

$TrafficPerNodeB_i$ = Tráfico del Nodo B por servicio i

R_{SHO} : Soft handover overhead incluyendo softer handover. Parámetro que indica la cantidad de radio links promedio que se utiliza por servicio.

$CEFactor_i$: Cantidad de CE utilizados para el servicio i

Cálculo de CE para la hora pico para CS

El cálculo de CE es dimensionado para evaluar la demanda pico de CE bajo los requerimientos de probabilidad de bloqueo, se utiliza el algoritmo ErlangB basado en el tráfico del Nodo B.

Se realizan los cálculos para uplink y downlink separadamente.

$$CE_{CS_Peak} = ErlangB\left(\sum_i TrafficPerNodeB_i, 2\%\right) \times CEFactor_i \times (1 + R_{SHO}) \quad (3.36)$$

b) Cálculo de CE promedio para PS de Release 99

Mediante la siguiente fórmula se determina el promedio de CE para PS. Se debe tener en cuenta que se tiene que realizar el cálculo para uplink y downlink separadamente.

$$CE_{PS_Aveg} = \frac{\sum_i TrafficPerNodeB_i \times (1 + R_{Retransmisi\acute{o}n-i}) \times (1 + R_{Burst-i}) \times (1 + R_{SHO}) \times CEFactor_i}{\rho_i \times R_i} \quad (3.37)$$

Donde:

$TrafficPerNodeB_i$: Tráfico en PS del Nodo B para el servicio i

ρ_i : Tasa de utilización de los CE para el servicio i .

R_i (kbps) : Tasa de bit para servicio i .

$R_{Retransmisi\acute{o}n-i}$: Retransmisión de datos en PS para el servicio i . Se ha considerado el valor de 1.01% (Fuente: Huawei)

R_{Burst} : Ratio de ráfagas en PS. Se ha considerado el valor de 0.00% (Fuente: Huawei)

c) Cálculo de CE para HSDPA

De acuerdo a lo estudiado en el capítulo uno, HSDPA utiliza el canal A-DCH para enviar información de control y señalización, éste canal no utiliza recursos de CE por lo que no se va a calcular CE para HSDPA para el enlace de subida. Para el envío de tráfico utiliza los recursos de acuerdo a la tasa de transmisión en PS o en HSUPA.

Mientras para el downlink, el canal A-DCH si utiliza un CE por cada usuario conectado, entonces los CE utilizados puede ser calculado mediante la siguiente fórmula

$$CE_{HSDPA_ADL} = Links_{HSDPA} = \frac{ThroughputPerNodeB_{HSDPA}(kbit)}{AverageThroughputPerUser_{HSDPA}(kbit)} \dots (3.38)$$

Donde:

$$ThroughputPerNodeB_{HSDPA} = \frac{TrafficPerNodeB_{HSDPA} \times (1 + R_{Re\text{transmission}}) \times (1 + R_{Burst})}{\dots} \dots (3.39)$$

d) Cálculo de CE para HSUPA

De manera análoga a HSDPA, los CE requeridos para el tráfico de HSUPA del número de enlaces conectados simultáneamente. Para el envío de señalización en uplink no utiliza recursos de CE, mientras que para el downlink depende si es enviado por PS o HSDPA.

$$CE_{HSUPA_Traffic} = Links_{HSUPA} * CEFactor_{HSUPA} \dots (3.40)$$

$$Links_{HSUPA} = \frac{ThroughputPerNodeB_{HSUPA}(kbit)}{AverageThroughputPerUser_{HSUPA}(kbit)} \dots (3.41)$$

Donde el *ThroughputPerNodeB* para HSUPA es hallado de manera análoga que para HSDPA, no obstante, se agrega un factor relacionado al Soft Handover Overhead $(1 + R_{SHO})$ al numerador. Y el *CEFactor_{HSUPA}* es de acuerdo al SF utilizado o también a la velocidad promedio. Para nuestro caso se ha considerado una velocidad promedio de 384kbps para lo cual el CE Factor toma el valor de 10.

Tabla 3.27 Relación entre CE Factor HSUPA con la velocidad de transmisión

MinSF	Velocidad en HSUPA (kbps)	CE Factors HSUPA
SF64	16	1
SF32	~32	1.5
SF16	~64	3
SF8	~128	5
SF4	~704	10
2*SF4	~1376	20

Fuente: Huawei

e) Elementos de Canal – CE Total

En conclusión, los recursos necesarios CE para cada enlace es.

$$CE_{UL_Total} = Max(CE_{CS_Peak_UL}, CE_{CS_Average_UL} + CE_{PS_UL} + CE_{HSUPA}) \dots (3.42)$$

$$CE_{DL_Total} = Max(CE_{CS_Peak_DL}, CE_{CS_Average_DL} + CE_{PS_DL} + CE_{HSDPA}) \dots (3.43)$$

Finalmente, se solicita el número de CE mayor entre los requeridos para el downlink y uplink. En la tabla siguiente, se encontrará el resumen para el cálculo de CE para cada Nodo B

Tabla 3.28 Número de CE requeridos por cada Nodo para cada año

NodoB/ Servicio	CE requeridos				
	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014
Centro Cajamarca	32	32	32	33	36
Santa Apolonia	32	32	32	32	32
Cajamarca Historico	32	32	32	32	32
Atahualpa	32	32	32	32	32
Baños del Inca	32	32	32	32	34
Coned	32	32	32	32	32
Cajamarca Norte	32	32	32	32	32
Km 24 Yanacocha	32	32	32	32	32
Cerro Negro	32	32	32	32	32
Cerro Mirador	32	32	32	32	32
Km 45	32	32	32	32	32

Fuente: Huawei

3.4.4 Dimensionamiento de la Red de Transporte – Interfaz Iub

El dimensionamiento de la red de transporte tiene como objetivo estimar el ancho de banda requerido para la interfaz Iub como consecuencia del tráfico estimado para el nodo B en análisis. Adicionalmente, se debe de considerar el ancho de banda ocupado por canales comunes, canales de señalización y de O&M (operación y mantenimiento).

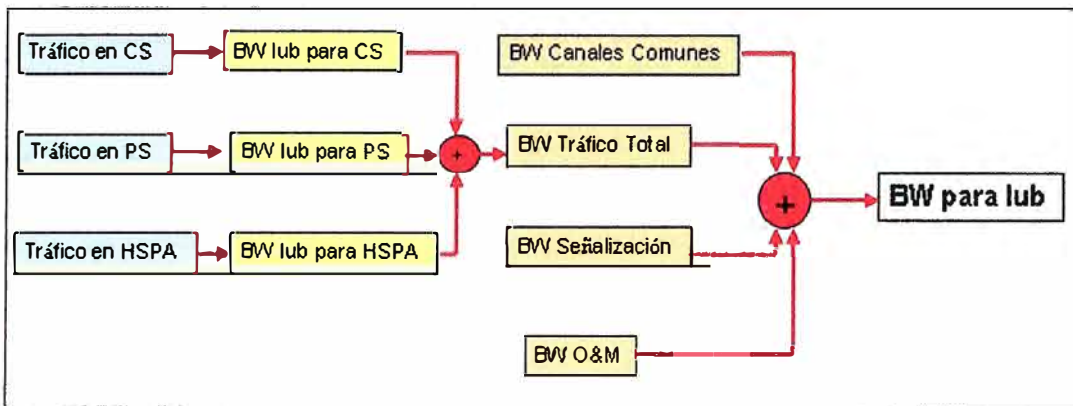
Es necesario resaltar que ésta interfaz para la red piloto tiene como medio de transporte TCP/IP sobre Ethernet, por ello su dimensionamiento estará basado en Mbps.



Fuente: Huawei

Figura 3.5 Esquema de Red de Transporte

A continuación se detalla los pasos a seguir para la estimación de la capacidad de la interfaz Iub.



Elaboración propia

Figura 3.6 Esquema para el cálculo del ancho de banda en la interfaz Iub

Como se observa en el esquema anterior, el ancho de banda de la interfaz Iub es la suma del ancho de banda requerido para cada servicio. A continuación se explicará como determinarlo para cada uno.

a) Ancho de Banda para CS

Cálculo de BW promedio para CS $Iub_{CS_Average}$

$$Iub_{CS_Average} = \sum_i TrafficPeNodeB_i * (1 + R_{SHO}) * R_{Iub_i} \dots (3.44)$$

Donde:

R_{SHO} : Soft handover overhead el cual no incluye el softer handover;

R_{Iub_i} : Ancho de banda para el servicio i de CS.

Cálculo de BW pico para CS Iub_{CS_Peak}

Teniendo los resultados de la fórmula anterior, se calcula el BW pico para CS mediante las tablas de ErlangB para una probabilidad de bloqueo de 2%.

$$Iub_{CS_Peak} = ErlangB \left(\sum_i TrafficPeNodeB_i * (1 + R_{SHO}), 2\% \right) * R_{Iub_i} \dots (3.45)$$

b) Ancho de Banda para PS Iub_{PS_Av}

Se aplica la siguiente fórmula

$$Iub_{PS_Av} = \frac{\sum_i TrafficPeNodeB_i \times (1 + R_{SHO}) \times (1 + R_{BURS}) \times (1 + R_{Retrans_i}) \times R_{Iub_i}}{R_i} \dots (3.46)$$

Donde:

$R_{Retrans_i}$: Retransmisión de la data en PS para el servicio i . Se ha considerado el valor de

1.01% (Fuente: Huawei)

R_{Burst} : Ratio de ráfaga para PS. Se ha considerado el valor de 0.00% (Fuente: Huawei).

c) Ancho de Banda para HSPDA Iub_{HSDPA_Avg}

Se aplica la siguiente fórmula

$$Iub_{HSDPA_Avg} = TrafficPerNodeB_{HSDPA} \times (1 + R_{Burst}) \times (1 + R_{Retrans}) \times (1 + R_{Iub_overhead}) \dots (3.47)$$

Donde:

$R_{Iub_overhead}$: HSDPA Overhead del Iub. Indica el porcentaje adicional de utilización del ancho de banda para HSDPA. Se ha considerado para nuestro caso el valor de 20% (Fuente: Huawei).

$R_{Retrans}$: Retransmisión de la data en HSPA. Se ha considerado el valor de 11.11% (Fuente: Huawei).

R_{Burst} : Ratio de ráfaga para HSPA. Se ha considerado el valor de 0.00% (Fuente: Huawei).

No obstante, si consideramos velocidad de transmisión pico ofrecido para HSDPA, la fórmula a aplicar es la siguiente:

$$Iub_{HSDPA_Peak} = PeakRatePerNodeB_{HSDA} \times (1 + R_{Retrans}) \times (1 + R_{Iub_overhead}) \dots (3.48)$$

Donde:

$PeakRatePerNodeB$: Es la tasa de transmisión en la capa de aplicación y se relaciona con la velocidad de transmisión en la capa física a través de la tabla 3.27.

Tabla 3.29 Relación entre la velocidad en la capa física y la de aplicación

Velocidad en la Capa Física	Velocidad en la Capa de Aplicación
3.6Mbps	3.3Mbps
7.2Mbps	6.67Mbps
14.4Mbps	12.94Mbps

Fuente: Huawei

Para nuestro análisis, vamos a considerar una velocidad de transmisión máximo de 3.6Mbps.

d) Ancho de Banda para HSUPA Iub_{HSUPA_Avg}

Similar a HSDPA, no obstante se agrega el factor del SHO overhead.

$$Iub_{HSUPA-TrafficPerNodeB} \times (1 + R_{SHO}) \times (1 + R_{Burst}) \times (1 + R_{Retrans}) \times (1 + R_{Iub_overhead}) \dots (3.49)$$

Donde:

$R_{Iub_overhead}$: HSUPA Overhead del Iub. Indica el porcentaje adicional de utilización del ancho de banda para HSUPA. Se ha considerado para nuestro caso el valor de 15% (Dato Huawei).

e) Ancho de Banda para Canales Comunes, Señalización y O&M

Adicionalmente al ancho de banda requerido para los canales de tráfico, se debe de agregar ancho de banda para señalización entre el Nodo B y RNC, cuyo valor es del 10% de la velocidad de tráfico del Iub aproximadamente. También los canales comunes requieren un ancho de banda tanto para el uplink (canal RACH) como para downlink (PCH y FACH) siendo sus valores de 51 y 66kbps respectivamente por cada sector del Nodo B. Por último para la realización de trabajos de operación y mantenimiento se requiere considerar un ancho de banda de 64kbps.

f) Ancho de Banda Total

De manera análoga que para la estimación de la capacidad de la portadora, se va a considerar que los servicios de PS y HSPA como best effort, entonces, el ancho de banda de la interfaz Iub requerida puede ser obtenida a través de la siguiente fórmula, siendo el mayor entre el uplink y downlink el ancho de banda requerido.

$$Iub_{total} = \begin{matrix} \text{Max}(Iub_{CS_Peak}, Iub_{CS_Av} + Iub_{PS_Av} + Iub_{HSPA_Av}, Iub_{HSDPA_Peak}) \\ + Iub_{CCH} + Iub_{Signaling} + Iub_{O\&M} \end{matrix} \dots (3.50)$$

En la siguiente tabla se observa el ancho de banda requerido para cada Nodo B en Mbps.

Tabla 3.30 Ancho de Banda en la interfaz Iub para cada Nodo por cada año

NodoB	Ancho de Banda (Mbps) requerido				
	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014
Centro Cajamarca	4.13	5.82	6.88	7.89	8.70
Santa Apolonia	4.13	4.13	4.13	4.44	4.90
Cajamarca Historico	4.13	4.13	4.54	5.19	5.73
Atahualpa	4.13	4.13	4.13	4.49	4.95
Baños del Inca	4.13	5.40	6.38	7.31	8.06
Coned	4.13	5.08	5.99	6.84	7.55
Cajamarca Norte	4.13	4.13	4.15	4.74	5.22
Km 24 Yanacocha	4.13	4.13	4.13	4.13	4.13
Cerro Negro	4.13	4.13	4.13	4.13	4.13
Cerro Mirador	4.13	4.13	4.13	4.13	4.13
Km 45	4.13	4.13	4.13	4.13	4.13

Elaboración propia

Finalmente, en base a los datos obtenidos en la tabla y a la ubicación de los Nodos, se debe diseñar la configuración de la red de transporte de nuestra red piloto. Para ello, se ha considerado implementarla a través de enlaces de microondas en configuración estrella debido al bajo costo que implica su ejecución en comparación con un tendido de fibra óptica. Adicionalmente, se considerará una configuración de 1+1 para que el radio enlace tenga un backup en paralelo asegurando confiabilidad y disponibilidad.

Se ubicarán dos nodos centrales, uno en la ciudad de Cajamarca (El Nodo B Santa Apolonia) y el otro en el cerro Mirador de Yanacocha (Nodo Cerro Mirador) debido que para el enlace con la RNC ubicada en Trujillo se tendría que alquilar circuitos a Telefónica del Perú para el transporte del mismo y dicha empresa tiene los puntos de acceso en esas dos ubicaciones.

3.4.5 Dimensionamiento de los Scrambling Codes

De acuerdo a lo explicado en el capítulo 1, para el uplink se pueden utilizar desde 0 hasta 2^{24-1} códigos scrambling, por ello, la RNC se encarga de seleccionar el código que el UE va a utilizar en el enlace de subida.

Para el caso del downlink, las celdas se identifican hacia los UEs a través de los PSC – Scrambling Codes Primarios, por lo cual, se tiene que considerar la planificación de los PSC. Según la teoría se pueden hacer uso de 512 PSC, y como en nuestra red piloto sólo se cuenta con 31 celdas, no habría problemas con la asignación de los códigos.

Con la finalidad de ordenar los códigos hacia una proyección futura donde se tenga que reusar dichos códigos, se va a explicar una manera de planificarlos manteniendo dos principios:

El PSC de la celda actual, no puede ser re-usada por su celdas vecinas y las celdas vecinas de otras celdas que pertenezcan al active set; y

El PSC de la celda vecina de la actual celda no pueden ser re-usadas por la celdas vecinas de otras celdas que pertenezcan al active set.

Primero se divide los 512 códigos en grupos de 4 códigos debido que la mayoría de Nodos tiene 3 celdas, por lo cual, 3 códigos van a ser asignados a las celdas pertenecientes a un mismo Nodo y el código restante se dejaría para un futura creación de un cuarto sector o celda. Posteriormente se agrupan en cluster de 16 grupos (de 4 códigos) de tal manera que cada grupo sea intercalado es decir que el primer grupo que tiene los códigos 0, 1, 2 ,3 le va a seguir el grupo con los códigos 8, 9, 10,11 y así sucesivamente. De los 16 grupos, se va utilizar 12 grupos, y los 4 grupos restantes se va dejar para una ampliación de la red en el futuro. Los 7 primeros cluster se va a utilizar para nodos de cobertura outdoor, mientras que el último cluster se utilizaría para nodos de cobertura indoor.

A continuación se muestra la tabla 3.31 donde se pueda observar la planificación de los PSC y en la tabla 3.32 el ordenamiento de los cluster.

Tabla 3.31 Planificación de los PSC en cada cluster

CLUSTER 1																
S1	0	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120
S2	1	9	17	25	33	41	49	57	65	73	81	89	97	105	113	121
S3	2	10	18	26	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	122
S4	3	11	19	27	35	43	51	59	67	75	83	91	99	107	115	123
CLUSTER 2																
S1	128	136	144	152	160	168	176	184	192	200	208	216	224	232	240	248
S2	129	137	145	153	161	169	177	185	193	201	209	217	225	233	241	249
S3	130	138	146	154	162	170	178	186	194	202	210	218	226	234	242	250
S4	131	139	147	155	163	171	179	187	195	203	211	219	227	235	243	251
CLUSTER 3																
S1	256	264	272	280	288	296	304	312	320	328	336	344	352	360	368	376
S2	257	265	273	281	289	297	305	313	321	329	337	345	353	361	369	377
S3	258	266	274	282	290	298	306	314	322	330	338	346	354	362	370	378
S4	259	267	275	283	291	299	307	315	323	331	339	347	355	363	371	379
CLUSTER 4																
S1	384	392	400	408	416	424	432	440	448	456	464	472	480	488	496	504
S2	385	393	401	409	417	425	433	441	449	457	465	473	481	489	497	505
S3	386	394	402	410	418	426	434	442	450	458	466	474	482	490	498	506
S4	387	395	403	411	419	427	435	443	451	459	467	475	483	491	499	507
CLUSTER 5																
S1	4	12	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	108	116	124
S2	5	13	21	29	37	45	53	61	69	77	85	93	101	109	117	125
S3	6	14	22	30	38	46	54	62	70	78	86	94	102	110	118	126
S4	7	15	23	31	39	47	55	63	71	79	87	95	103	111	119	127
CLUSTER 6																
S1	132	140	148	156	164	172	180	188	196	204	212	220	228	236	244	252
S2	133	141	149	157	165	173	181	189	197	205	213	221	229	237	245	253
S3	134	142	150	158	166	174	182	190	198	206	214	222	230	238	246	254
S4	135	143	151	159	167	175	183	191	199	207	215	223	231	239	247	255
CLUSTER 7																
S1	260	268	276	284	292	300	308	316	324	332	340	348	356	364	372	380
S2	261	269	277	285	293	301	309	317	325	333	341	349	357	365	373	381
S3	262	270	278	286	294	302	310	318	326	334	342	350	358	366	374	382
S4	263	271	279	287	295	303	311	319	327	335	343	351	359	367	375	383
CLUSTER 8																
S1	388	396	404	412	420	428	436	444	452	460	468	476	484	492	500	508
S2	389	397	405	413	421	429	437	445	453	461	469	477	485	493	501	509
S3	390	398	406	414	422	430	438	446	454	462	470	478	486	494	502	510
S4	391	399	407	415	423	431	439	447	455	463	471	479	487	495	503	511

Fuente: Huawei

Tabla 3.32 Ordenamiento de los PSC y los cluster

>	72	>	80	>	88	>	200	>	208	>	216
>	64	>	8	>	16	>	192	>	136	>	144
>	56	>	0	>	24	>	184	>	128	>	152
>	48	>	40	>	32	>	176	>	168	>	160
>	328	>	336	>	344	>	456	>	464	>	472
>	320	>	264	>	272	>	448	>	392	>	400
>	312	>	256	>	280	>	440	>	384	>	408
>	304	>	296	>	288	>	432	>	424	>	416

Fuente: Huawei

Con este ordenamiento se consigue un holgado reuso de PSC. Se puede observar en la tabla 3.33 la planificación final de los PSC para las celdas de la red piloto

Tabla 3.33 Planificación final de los PSC

Nombre	Sector	CellId	PSC
Centro Cajamarca	1	11	0
Centro Cajamarca	2	12	1
Centro Cajamarca	3	13	2
Santa Apolonia	1	21	40
Santa Apolonia	2	22	41
Cajamarca Historico	1	31	24
Cajamarca Historico	2	32	25
Cajamarca Historico	3	33	26
Atahualpa	1	41	32
Atahualpa	2	42	33
Atahualpa	3	43	34
Baños del Inca	1	51	48
Baños del Inca	2	52	49
Baños del Inca	3	53	50
Coned	1	61	16
Coned	2	62	17
Coned	3	63	18
Cajamarca Norte	1	71	8
Cajamarca Norte	2	72	9
Cajamarca Norte	3	73	10
Km 24 Yanacocha	1	81	56
Km 24 Yanacocha	2	82	57
Km 24 Yanacocha	3	83	58
Cerro Negro	1	91	64
Cerro Negro	2	92	65
Cerro Negro	3	93	66
Cerro Mirador	1	101	72
Cerro Mirador	2	102	73
Cerro Mirador	3	103	74
Km 45	1	111	80
Km 45	2	112	81

Elaboración propia

3.5 Diseño de la RNC y El Core

No se desarrollará en forma detallada el dimensionamiento de la RNC y el Núcleo de Red, debido que para la planificación de la red 3.5G en Cajamarca se presume que la operadora dueña de la red ya debería de estar brindando el servicio de telefonía móvil e Internet como mínimo en la ciudad de Lima y en otras ciudades principales, contando por ello, que la estructura de la RNC y el Núcleo de Red ya ha sido desarrollado en la ciudad de Lima, sólo faltaría adecuarlo mediante upgrade de software y en capacidad para soportar el nuevo tráfico proveniente de la ciudad de Cajamarca. No obstante lo

mencionado, se explicará brevemente como se desarrolla y que criterios se debe tener para el dimensionamiento de la RNC y el Núcleo de Red.

3.5.1 Dimensionamiento de la RNC

Para determinar el número de RNC necesarios para satisfacer la demanda de la red se debe tener los siguientes criterios:

Número de Erlang que va a cursar como tráfico total de todos los Nodos correspondiente a su cobertura.

Número de Nodos B correspondiente a su cobertura.

Número de Celdas correspondiente a su cobertura. Cabe señalar que una celda se define como un sector del Nodo que tiene una sola portadora configurada.

En conclusión, el número de RNC vendría a ser el número máximo que satisface todos los requerimientos mencionados.

Otras características a tomar en cuenta son:

Máxima velocidad de transmisión de datos para PS.

Máximo número de SPM (Módulo de procesamiento de señal)

Máximo número de Nodos B controlados por un SPM.

Máximo número de celdas controlados por un SPM.

Máximo número de llamadas administradas en la hora pico (BHCAs).

Como se mencionó párrafos anteriores, esta red está orientado para que sea brindado por un operador, por lo cual, para que este operador tenga como finalidad brindar el servicio HSPA en Cajamarca, lo mas probable es que también se encuentre entre sus proyectos brindar cobertura en las principales ciudades del Norte (incluyendo Trujillo) y en Lima, por ello, la ubicación más idónea de la RNC sería en su sede de Trujillo (en el interior del local por temas de seguridad y administración del equipo) al encontrarse equidistante de las demás ciudades del norte del país y también por ser la principal de dicha región, se está considerando que para Lima se contaría con otra RNC que cubriría los altos requerimientos de tráfico de la capital.

3.5.2 Dimensionamiento del Core

De manera análoga al dimensionamiento de la RNC se debe considerar requerimientos de tráfico de voz y dato, la cantidad de suscriptores que soportarán, y que los equipos de PS soporte HSPA. En total se va a considerar los siguientes equipos:

Para el dominio de CS:

MSC: Las funciones han sido explicadas en el capítulo 1

HLR: Las funciones han sido explicadas en el capítulo 1

MGW: Las funciones han sido explicadas en el capítulo 1

SG: Es un STP (Punto de transferencia de señalización) , se encarga de convertir los paquetes de señalización de diferentes protocolos por ejemplo MTP , M3UA M M2PA , entre otros y además tiene la base de datos de portabilidad local.

Para el dominio de PS:

SGSN: Las funciones han sido explicadas en el capítulo 1

GGSN: Las funciones han sido explicadas en el capítulo 1

CG: (Gateway de Carga): Dispositivo que tiene la función de coleccionar, consolidar y preprocesar CDR (Archivos con el detalle de las llamadas) generados por el SGSN o el GGSN. Provee una interfaz con el centro de facturación.

3.6 Especificaciones de los Equipos

De acuerdo a los requerimientos de tráfico, ancho de banda, calidad y servicio que se va a brindar en la red, se ha escogido los siguientes equipos pertenecientes al proveedor Huawei como referencia, debido que se cuenta con los datos técnicos de los equipos de éste proveedor y se ha considerado que actualmente ésta empresa trabaja con dos operadoras nacionales, garantizando que cuenta con la suficiente experiencia en el manejo de los equipos y stock de los mismos.

3.6.1 Nodo B

El Nodo B propuesto para este proyecto de red es el DBS3900, el cual consta básicamente de dos módulos: un BBU3900 y un RRU3801C, el primero es la unidad de procesamiento de banda base que provee la interfaz para la conexión entre el Nodo B y el RNC, mientras que el segundo es la unidad outdoor de radio remota que transmite y procesa señales de RF entre el BBU y el sistema radiante. Sus principales características técnicas son:

Soporta seis bandas de frecuencia: Banda 2100, banda 1900, banda 1800, banda AWS, banda 850 y banda 900MHz.

La RRU 3801 soporta hasta dos portadoras, teniendo una potencia total de 40W.

Tiene una sensibilidad de -128.1dBm en la recepción.

Soporta como máximo 12 celdas, con las posibles configuraciones de 6 sectores por 2 portadoras ó 3 sectores por 4 portadoras.

La capacidad máxima de CE es de 1536 CE.

Las dimensiones del BBU3900 es de 86mm x 442mm x 310mm y del RRU3801C es de 480mm x 365mm x 145mm.

El peso del BBU3900 como máximo es de 11 kilos y del RRU3801C es de 20 kilos.

El BBU utiliza fuente de +24VDC o -48VDC y el RRU -48VDC o 220VAC.

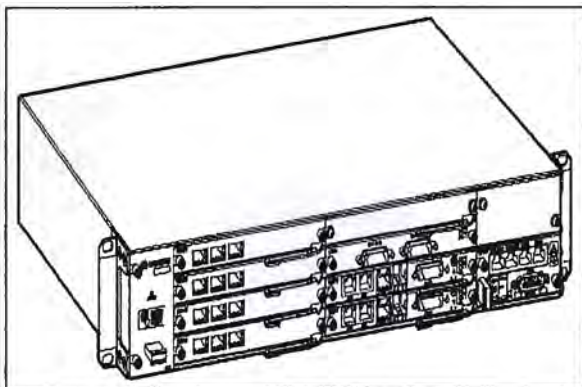
Soporta servicios de HSDPA, HSUPA, y mediante el upgrade de software y de boards de procesamiento se puede migrar fácilmente a HSPA+ y LTE.

Para HSDPA, soporta hasta 15 códigos HS-PDSCH, 12 categorías diferentes de UEs y puede administrar una celda hasta 64 UEs de manera instantánea, manejando una tasa pico de 14.4Mbps por celda.

Para HSUPA soporta TTI de 10ms y 2ms, tasa de transmisión pico de 5.76Mbps por usuario y administra hasta 60 usuarios de manera simultánea.

Adicionalmente el Nodo B permite que el UE pueda moverse con una velocidad de hasta 400km/h.

El Nodo B puede adaptarse a ambientes outdoor e indoor y provee dos plataformas de administración LMT (Mantenimiento del dispositivo a nivel local) y M2000 (Centro de Administración Centralizada).



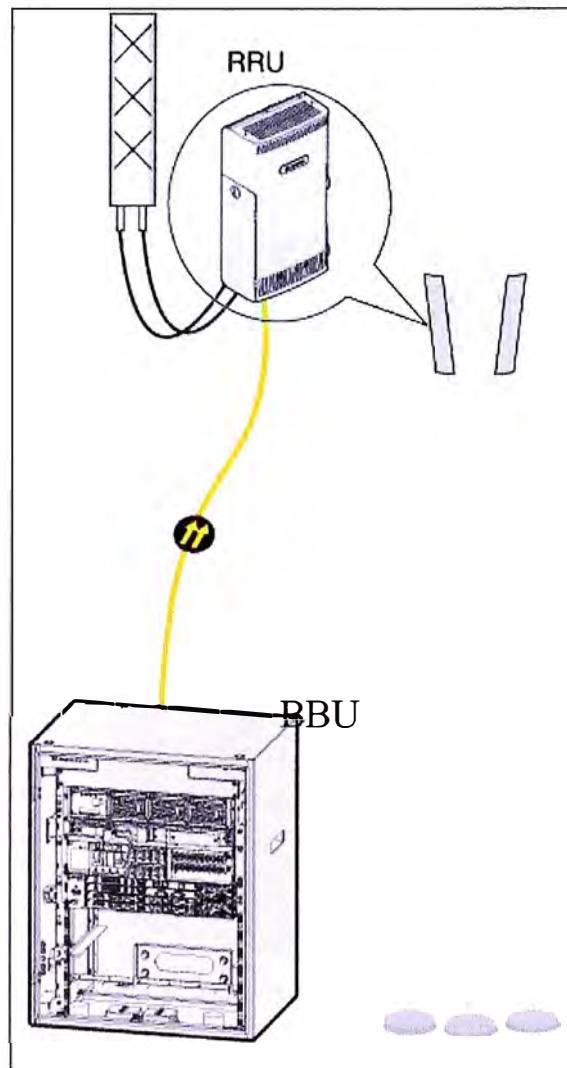
Fuente: Huawei

Figura 3.7 BBU3900



Fuente: Huawei

Figura 3.8 RRU 3801



Fuente: Huawei

Figura 3.9 Ubicación de los equipos de RF en el Nodo B

3.6.2 RNC

Como se mencionó en el capítulo referente a la planificación de la RNC, los requerimientos de nuestra red piloto en cuanto a capacidad son mínimos en comparación con lo que ofrece cualquier RNC. Se va a considerar para nuestro caso el RNC BSC6810, el cual tiene entre otras las siguientes características.

Máximo tráfico de voz: 51, 000 Erlang

Máximo throughput de datos en PS: 3,624 Mbit/s (UL + DL).

Máximo Número de Nodos B: 1,700

Máximo Número de celdas: 5,100

Máximo número de SPM (Módulo de procesamiento de señal): 17

Máximo número de Nodos B controlados por un SPM: 100

Máximo número de celdas controlados por un SPM: 300

Máximo número de llamadas administradas en la hora pico (BHCAs): 1'360,000

Dimensiones: 2,200mm x 600mm x 800mm

Peso: de 100 Kg hasta 350Kg.



Fuente: Huawei

Figura 3.10 RNC BSC 6810 Modelo de Gabinete N68E-22.

3.6.3 Núcleo de Red

Los siguientes equipos pueden servir como ejemplo para considerarlos en la planificación del núcleo de la red.

MSOFTX3000: Corresponde al MSC de Huawei, soporta funciones de GSM y WCDMA, puede funcionar como VMSC, VLR, GMSC.

UMG89000: Corresponde al MGW de Huawei.

HLR9820: Corresponde al HLR de Huawei, integra las funciones de HLR y AuC.

SG7000: Corresponde al SG de Huawei. Soporta una variedad de protocolos.

SGSN9810: Corresponde al SGSN de Huawei.

CG9812: Corresponde al GG de Huawei.

CAPITULO IV EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

En este capítulo se va a desarrollar el análisis económico del proyecto, para ello se tiene que determinar la inversión inicial de proyecto, su costo de operación y mantenimiento y los ingresos que se va a obtener como resultado del servicio que se va ofrecer , y en base a ello, se evaluará la rentabilidad o no del proyecto.

4.1 Costos de Inversión

En la tabla siguiente se podrá observar los costos de inversión para el presente proyecto. Dichos costos están relacionados a la infraestructura de la red de acceso y de transporte principalmente. Se va a considerar un porcentaje de los costos de RNC y el Core (CS y PS) debido que ambos elementos de red van a ser utilizados para otras redes de acceso en otras localidades.

Tabla 4.1 CAPEX

Concepto	Marca	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Total (\$)
EQUIPOS WCDMA				
Nodo B	Huawei	11	30,000.00	330,000.00
RNC	Huawei	15%	200,000.00	30,000.00
Core (CS y PS)	Huawei	5%	2,500,000.00	125,000.00
SISTEMA RADIANTE				
Antenas Sectoriales	Andrew	33	10,000.00	330,000.00
Radio Microondas	Huawei	20	10,000.00	200,000.00
Antena Microondas		20	2,000.00	40,000.00
Feeder	Andrew	53	47.00	2,491.00
Otros				2,000.00
INFRAESTRUCTURA				
Banco de Baterías	Tudor	11	15,000.00	165,000.00
Grupo Electrónico	Honda	11	3,500.00	38,500.00
Pozo a Tierra	Thor-Gel	11	30.00	330.00
Pararrayos Franklin	Thor-Gel	11	150.00	1,650.00
Aire Acondicionado	York	11	12,000.00	132,000.00
Luz de Balisaje	Promelsa	11	15.00	165.00
Torres (propias)	Fab Nacional	4	50,000.00	200,000.00
TERMINALES DE USUARIO				
Datacards y UE		4000	100.00	400,000.00
EXTERNALIDADES				
Interconexión con otros operadores		1	100,000.00	100,000.00
Instalación y Seguridad		11	5,000.00	55,000.00
Otros				30,000.00
TOTAL				2,182,136.00

Elaboración propia

De acuerdo a la tabla, nuestra red piloto tendrá una inversión inicial de aproximadamente dos millones y doscientos mil de dólares, es importante resaltar que los precios son referenciales. Además sólo se ha considerado un lote de 4 mil terminales para satisfacer la demanda del primer año, para los siguientes años se venderá el terminal de acuerdo al precio de mercado y la inversión por este concepto será retornada a la hora de la venta del mismo por lo que no se considerará en los cálculos.

Se ha considerado la construcción de 4 torres correspondiente a los Nodos de El Conde, Cajamarca Histórico, Cajamarca Centro y Cajamarca Norte, debido que van a ser torres ventadas cuyo costo no es excesivo. Para los otros 7 Nodos restantes se ha considerado compartir infraestructura con las torres existentes con los otros operadores, tanto Telefónica como América Móvil cuenta con torres propias en todas esas localidades, los Nodos con compartición de infraestructura son: Santa Apolonia, Baños del Inca, Atahualpa, Km_24 Yanacocha, Cerro Negro, Km 45 (sólo Claro tiene torre propia) y Cerro Mirador. Estos Nodos son torres autosoportadas cuyo costo de construcción es elevado por ello se pretende compartir la infraestructura, este costo se tomará en cuenta en el presupuesto anual de operación y mantenimiento de la red.

4.2 Costos de Operación y Mantenimiento

En esta sección se va a contemplar los gastos que se va incurrir para el mantenimiento de la red por cada año respectivo. Para las labores de venta de terminales se ha considerado 4 personas encargadas de dicha labor (con un sueldo de 500 dólares), para las funciones de ingeniería se ha considerado 2 Ingenieros de RF y 2 Ingenieros de Red (con un sueldo de 800 dólares) y también se ha considerado el cargo de supervisor del área a una persona (con un sueldo de 1500 dólares). Con la finalidad de asegurar una performance adecuada en el acceso a Internet, se va a considerar dentro del presupuesto el costo de ser parte de un NAP, junto con otros operadores de la zona, de esta manera se asegura una calidad aceptable de acuerdo en el acceso a Internet. Como se explicó en la sección anterior, se va a considerar el costo mensual de compartición de infraestructura de 7 Nodos B. Además, se debe considerar los minutos de uso en llamadas off-net que realizarán los usuarios, para facilitar los cálculos, se va a considerar que el costo que se debería pagar por la terminación de llamada a otra red será similar al costo que otras redes debería de abonar a favor de la empresa por el mismo concepto. Finalmente, como se explicó en el capítulo del diseño de la Red, se va hacer uso de la red de Telefónica para la interconexión de los Nodos B hacia el RNC que estratégicamente se colocará en el Norte del País (Trujillo). Por

ello, por motivo de enlace de interconexión se tiene que abonar mensualmente el cargo respectivo. Se va a considerar el alquiler de 30E1 suficiente para nuestra red piloto. Se debe tener en cuenta que se va acercar lo más próximo nuestro punto de interconexión con la central de Telefónica (ubicada en la ciudad de Cajamarca) para evitar el cargo tope por implementación e instalación del enlace de interconexión. En resumen se van a tener los siguientes gastos por cada año

Tabla 4.2 OPEX

CONCEPTO	Unidades	Costo Mensual	Costo Anual
Enlaces de Interconexión (E1)	30	1.817.00	21.804.00
Alquiler de Torres	7	7.000.00	84.000.00
Pago de Personal	9	6.700.00	80.400.00
Acceso a Internet	1	30.000.00	360.000.00
Otros Gastos		20.000.00	240.000.00
TOTAL			786.204.00

Elaboración propia

El concepto de Otros Gastos abarca los gastos correspondientes a la publicidad y otros referidos al mantenimiento de la red misma.

4.3 Ingreso económico del proyecto

Los ingresos van a ser sustancialmente debido a las tarifas propuestas en nuestro plan tarifario, entonces, en base a nuestros planes explicados en el capítulo 2 y a la cantidad de suscriptores de cada uno se elaboró la siguiente tabla que muestra los ingresos por año. Además se ha considerado que se va a vender los terminales UEs a un precio de 50 dólares promedio el primer año para captar mercado. Para los años siguientes se venderá a precio de compra, por lo que no se considerará en los cálculos de los años posteriores.

Tabla 4.3 a) Ingresos por año

Datos / Plan	PRIMER AÑO						SEGUNDO AÑO (Nuevos Clientes)					
	G	J	E	I	IE	B	G	J	E	I	IE	B
Total de usuarios	686	172	546	1803	273	202	1057	311	385	1452	193	61
Total de usuarios	3682						7141					
Tarifa en \$	10	15	30	20	70	100	10	15	30	20	70	100
Ingreso Mensual por Tarifa	6,855.28	2,579.30	16,386.15	36,063.96	19,117.18	20,229.82	17,422.12	7,248.96	27,941.95	65,103.27	32,598.94	26,362.09
Ingreso por venta de UE	184,114.27											
Ingresos subtotales	1,398,894.63						2,120,127.96					
INGRESOS ACUMULADO	2,393,485.53						3,519,022.58					

Elaboración propia

Tabla 4.3 b) Ingresos por año

Datos / Plan	TERCER AÑO (Nuevos Clientes)						CUARTO AÑO (Nuevos Clientes)					
	G	J	E	I	IE	B	G	J	E	I	IE	B
Total de usuarios	172	125	135	585	136	29	157	114	221	532	111	12
Total de usuarios	8325						9470					
Tarifa en \$	10	15	30	20	70	100	10	15	30	20	70	100
Ingreso Mensual por Tarifa	19,143.31	9,130.28	31,991.92	76,813.07	42,135.91	29,266.03	20,710.27	10,836.92	38,624.50	87,445.97	49,873.92	30,469.82
Ingreso por venta de UE												
Ingresos subtotales	2,501,766.24						2,855,536.83					
INGRESOS ACUMULADO	6,020,788.83						8,876,325.66					

Elaboración propia

Tabla 4.3 c) Ingresos por año

Datos / Plan	QUINTO AÑO (Nuevos Clientes)					
	G	J	E	I	IE	B
Total de usuarios	143	103	79	483	79	22
Total de usuarios	10379					
Tarifa en \$	10	15	30	20	70	100
Ingreso Mensual por Tarifa	22,138.41	12,386.36	40,988.65	97,109.65	55,390.27	32,636.65
Ingreso por venta de UE						
Ingresos subtotales	3,127,799.74					
INGRESOS ACUMULADO	12,004,125.40					

Elaboración propia

4.4 Evaluación Económica del Proyecto y recuperación del capital

En este capítulo, se determinará en cuanto tiempo se recuperará la inversión. En base a los costos de CAPEX y OPEX y los ingresos por cada año, se obtendrá la tabla siguiente que nos muestra el ingreso neto del proyecto sin considerar impuestos.

Tabla 4.4 Ingreso neto del proyecto sin considerar impuestos

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Inversión (\$)	2,182,136.00					
Gastos Operación y Mantenimiento (\$)		-786,204.00	-786,204.00	-786,204.00	-786,204.00	-786,204.00
Ingresos (\$)		2,393,485.53	2,120,127.96	2,501,766.24	2,855,536.83	3,127,799.74
Ingreso Neto del Proyecto (\$)	-2,182,136.00	-574,854.47	759,069.49	2,474,631.73	4,543,964.56	6,885,560.30

Elaboración propia

Tomando en cuenta, los impuesto a pagar por concepto del Canon Radioeléctrico (\$5 dólares por cada terminal aproximadamente) y a OSIPTEL y FITEL (en total 1.5% de la ganancia neta), se tendría el flujo de caja total por año

Tabla 4.5 Flujo neto del proyecto

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Ingreso Neto (\$)	-2,182,136.00	-574,854.47	759,069.49	2,474,631.73	4,543,964.56	6,885,560.30
Impuestos FITEL, OSIPTEL (\$)			-11,386.04	-37,119.48	-88,159.47	-103,283.40
Impuesto por Canon (\$)		-18,411.43	-35,706.79	-41,623.34	-47,352.26	-51,895.12
Valor Actual - Flujo Neto (\$)	-2,182,136.00	-593,265.90	711,976.66	2,395,888.91	4,428,452.83	6,730,381.77

Elaboración propia

Se observa que a partir del segundo año de funcionamiento de la red piloto se obtendría un saldo positivo de mas de medio millón de dólares por lo cual nuestra red resulta rentable en un corto plazo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Al finalizar el presente trabajo se puede concluir lo siguiente:

La tecnología HSDPA y HSUPA ofrece elevadas tasas de transferencia en ambos sentidos por lo cual es posible brindar una variedad de servicios en el campo de los negocios y diversión garantizando un mercado potencial. Para el desarrollo de esta tecnología es necesario desplegar una red UMTS y mediante un upgrade de software configurarla para soportar el Release 6. Además esta red podría migrar fácilmente hacia la cuarta generación que tendría como tecnología de acceso el LTE – Long Term Evolution con velocidades de transferencia de 300Mbps aproximadamente.

Luego del estudio socio-económico de la ciudad de Cajamarca, se concluye que dicha región cuenta con un gran mercado potencial para el despliegue de una red HSPA, siendo el cuarto departamento con mayor población actualmente, y teniendo diferentes sectores y segmentos de la población para quienes se debería implementar planes de servicios de telefonía y de datos según sus requerimientos y posibilidades económicas. Además se debe considerar la posibilidad de que la minera Yanacocha sea nuestro cliente, en vista que dicha empresa es el motor económico de la ciudad y facilitaría el despliegue comercial de la red en la región

Para planificar una red HSPA a nivel de acceso se deben considerar diversos factores que nos restringen el área de cobertura de una celda. Luego del estudio realizado se concluye que para brindar un adecuado servicio en la ciudad de Cajamarca se requiere la instalación de 7 Nodos B dentro de la ciudad y 4 Nodos B dentro de la Mina Yanacocha operando bajo una portadora.

Finalmente, mediante costos referenciales (se considera solo una proporción del core) se puede observar que el proyecto resulta rentable al segundo año de funcionamiento de la red, sin considerar potenciales clientes pre-pago quienes incrementarían los ingresos. Por ello, el proyecto de desplegar una red HSPA en Cajamarca resulta ampliamente rentable.

Recomendaciones

Se sugieren que sean tomadas en cuenta las siguientes recomendaciones:

Dentro de los planes orientados hacia el consumidor, se señala una capacidad de descarga máxima la cual va desde 100Mbps hasta ilimitados (entendiéndose por descarga toda transferencia de datos en ambos sentidos) se puede considerar que luego de superado este límite, la posibilidad que el usuario pueda adquirir una tarjeta pre-pago para poder volver a navegar por Internet sin necesidad de esperar hasta fin de mes, de esta manera se incrementaría las ganancias de la empresa. Además para el caso de ilimitados, se debería especificar que luego de una descarga de 10Gbits la velocidad de transferencia se reduciría al 20% de lo ofrecido inicialmente, con la finalidad de no saturar la red.

Como se mencionó anteriormente, no se ha considerado planes pre-pago por no ser fáciles de cuantificar, pero se podría dejar abierta la posibilidad de incorporar usuarios bajo esta modalidad elevando de esta manera los ingresos del propietario de la red. Ante un eventual problema de sobrecarga de la red puede fácilmente ser solucionado con un incremento de CE o de ancho de banda o en el último caso adicionando una segunda portadora, lo cual no involucra hardware alguno.

El diseño ha sido orientado para un proveedor que pueda brindar cobertura en la ciudad de Lima y en las principales ciudades de provincia del país, por lo que el costo del core (Núcleo de Red) no ha sido considerado en su totalidad debido que sería compartido con otras redes de acceso. Además se recomienda que el RNC sea ubicado en Trujillo, el cual brindaría servicio a todas las ciudades principales del norte del país y su interconexión con los Nodos B de Cajamarca se realizaría vía enlaces de interconexión de Telefónica para reducir costos.

Actualmente, en la ciudad de Cajamarca se encuentra brindando servicios dos operadoras, por lo cual, si un tercero proyecta iniciar sus operaciones en esta ciudad, se sugiere que suscriba contratos de compartición de infraestructura con estas dos operadoras dentro del marco legal vigente, para reducir considerablemente los costos de instalación.

Se debe tomar en consideración, que los cálculos y simulaciones presentadas en este proyecto son teóricos, luego de la implementación de la red se debe de realizar Drive Tests para la optimización de la red. Además, en las visitas técnicas de los candidatos de los Nodos B, verificar que no presenten obstáculos debido que la geografía y la densidad urbana puede variar con el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Andrew S. Tanenbaum, “Redes de Computadoras”, Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, 2003
2. Huawei, “Manual RAN Fundamental”, Huawei Technologies, 2007
3. Harri Holma y Antti Toskala, “WCDMA for UMTS, Radio Access for Third Generation Mobile Communication, John Wiley & Sons, Ltd, 2004.”
4. Javier Gonzales Gallego, “Tendencias Release 6 de UMTS”, 2006.
5. 3GPP, “3GPP TS23.101 Technical Specification Group Services and Systems Aspects General Universal Mobile Telecommunication System architecture Release 6”, 2004.
6. Huawei, “WCDMA Radio Interface Physical Layer”, Huawei Technologies, 2007.
7. Victor Manuel Quintero Florez, “Presentaciones del curso 3G-WCDMA”, Universidad de Cauca – Departamento de Telecomunicaciones.
8. 3GPP, “3GPP TS26.071 UMTS AMR Speech Codec, General Description Release 6, 2004”.
9. Daniel Guillén Guevara, “Diseño de una red de telefonía móvil de tercera generación WCDMA para la ciudad de Tacna”, Tesis PUCP, 2008.
10. Huawei, “HSDPA Principle and Configuration”, Huawei Technologies, 2007.
11. Harri Holma y Antti Toskala, “HSDPA / HSUPA for UMTS, John Wiley & Sons, Ltd, 2006.”
12. MTPE, “Encuesta de Hogares Especializada en Niveles de Empleo”, 2007.
13. INEI, “Censos Nacionales de Población y Vivienda”, 2007 .
14. Yanacocha, “www.yanacocha.com.pe”.
15. Huawei, “Introduction to Huawei RNP&RNO”, Huawei Technologies, 2007.
16. Huawei, “RNP Procedures”, Huawei Technologies, 2007.
17. Tommi Heikkila, “HSDPA Radio Network Planning”, 2006.
18. Jussi Kahtava, “WCDMA evolution with HSDPA”, CIC 2004.
19. Engineering Service Group, “Aspects of HSUPA Network Planning”, Qualcomm, 2007.

20. Claudia Cabrejos y Ernesto Cuesta, “Diseño de una red IMS para la ciudad de Ica”, PUCP, 2009.
21. MTC, “<http://www.mtc.gob.pe/comunicaciones/canon.asp>”, 2007.