

Planificación de red de acceso radio UMTS/HSDPA

Marcelo A. Jaimes Illanes

Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica Boliviana
Av. General Galindo s/n, Cochabamba, Bolivia

e-mail: marcelo.jaimes.mail@gmail.com

Resumen

Los sistemas de segunda generación presentan limitaciones en ancho de banda y servicios que pueden soportar. En cambio, los sistemas de tercera generación tienen la capacidad de ofrecer elevadas velocidades de transferencia, calidad de servicio y nuevas aplicaciones. El objetivo del presente trabajo es diseñar una red de telecomunicaciones móvil de tercera generación UMTS/HSDPA y proponer un escenario de incursión real de COMTECO en el mercado de la telefonía móvil como un cuarto operador. La metodología empleada en el presente proyecto tiene como base un estudio cuantitativo, analítico, teórico y descriptivo. Se inicia el proceso de pre planificación mediante la definición de servicios y la estimación de una proyección de demanda en el departamento. Posteriormente, se pasa a la fase de planificación, en la que, mediante un estudio del balance de potencias, se llega a un equilibrio en cuanto a cobertura y capacidad, y se logra determinar la cantidad de nodos necesarios y su configuración. Adoptando la metodología de planificación propuesta se consigue realizar la planificación de acceso radio acorde a las necesidades y facilidades que tiene COMTECO, asegurando la cobertura deseada en las zonas de interés y procurando una buena calidad de los servicios.

Palabras clave: Telefonía móvil, tercera generación, UMTS, HSDPA, banda ancha.

1 Antecedentes

Cierta ocasión, uno de los primeros ingenieros de planificación de sistemas de tercera generación se encontraba trabajando como consultor de planificación de red radio para una de las emergentes redes UMTS. Rápidamente se notó que su punto de vista sobre la planificación de redes 3G era significativamente diferente al que poseían los ingenieros del operador. La más probable explicación para ello sería que ninguna de las partes, en ese entonces, poseía experiencia en la planificación de redes UMTS. Por una parte se encontraba una fuerte base teórica en UMTS, y por la otra, la extensa experiencia de planificación en GSM del operador. Rápidamente comenzó una discusión entre las dos partes, resultando en que ambas tenían muchos puntos de vista diferentes en los aspectos de la planificación de la red, debido a que ellos simplemente veían la red

usando parámetros diferentes de planificación. Mientras la aproximación académica reconocía la gran cantidad de parámetros que influyen en la planificación de una red UMTS, la tarea del operador era más la selección apropiada de los sitios 3G y su configuración estática. Mientras que el consultor sugería, a los ingenieros de la operadora, que la principal atención en la planificación de 3G se encontraba en el equilibrio entre cobertura y capacidad de la red. Entonces, en realidad, ¿en qué consiste la planificación de redes 3G? [2].

2 Generaciones de la telefonía móvil

Durante la década de los 90 los servicios e infraestructura de las telecomunicaciones se desarrollaron y evolucionaron rápidamente, fomentados por los nuevos negocios, como también respaldados por el crecimiento del uso de Internet y la apertura del mercado de las telecomunicaciones.

Actualmente, existen varias tecnologías que están siendo utilizadas por los operadores móviles alrededor del mundo, ver tabla 1.

Tabla 1. Evolución de los servicios de telecomunicaciones.

Generación	Servicios	Sistema	Velocidad teórica/práctica
1G	Voz	AMPS	Sólo voz (analógico)
2G	Voz	GSM	14.4kbps - 9.6kbps
	SMS		
	Fax	IS-95A CDMA	14.4kbps
	Teleservicios de voz	IS-136 TDMA	14.4kBPS
2.5G	Todos los servicios de 2G	HSCSD	57.6kbps/28.8 kbps
	Intranets, Internet		
	EMS, MMS	GPRS	115kbps/ 50kbps
	Descarga de <i>wallpapers</i>		
	Descarga de melodías		
Descarga de juegos J2ME	EDGE	384kbps/ < 170kbps	
Todos los servicios de 2.5G	W-CDMA	2 Mbps/ 64kbps móvil / 384 kbps fijo	
Mayor velocidad de transmisión			
3G	Videollamadas	cdma2000 EVDO	3.1 Mbps/300 kbps móvil
	Juegos en línea		
	Localización		
	Descarga de videos		
3.5G	E-commerce	UMTS HSDPA	14 Mbps /700kbps móvil/7.2-1.8 Mbps fijo
	Los mismos servicios que 3G		
	Localización		
	Transferencia de datos de alta velocidad		
	TV en vivo		

Un desafío planteado a los desarrolladores de la infraestructura de telecomunicaciones fue satisfacer la creciente demanda de los usuarios por ancho de banda para una óptima transmisión de datos, sustentada por las aplicaciones multimedia.

Los usuarios no sólo buscan la obtención de texto de las diferentes páginas en Internet, sino también aplicaciones de música y video, e incluso pretenden realizar comunicaciones que involucren audio y video en tiempo real. Otro aspecto importante fue el de la movilidad, por lo que rápidamente los grupos técnicos comenzaron a investigar nuevas tecnologías que posibiliten las comunicaciones móviles de banda ancha.

Los servicios de la tercera generación de los sistemas celulares (3G) fueron la respuesta a todas aquellas demandas. Éstos ofrecen servicios de comunicaciones móviles de banda ancha y procuran adicionalmente la conservación de los servicios tradicionales de voz. Entonces, nace esta nueva opción tecnológica que brinda aplicaciones como llamadas telefónicas, videoconferencias, apuestas en línea, juegos en línea y navegación en páginas Web. La UIT, en este sentido, comenzó a trabajar para lograr la normalización del sistema de telefonía móvil de tercera generación

Las características generales de los sistemas 3G son:

- Interfaz de radio mejorada en eficiencia espectral y capacidad de transferencia de información.
- Diseño de los protocolos de la interfaz de aire para soportar múltiples aplicaciones con muy diferentes requerimientos de tasas de transferencia y calidad de servicio.
- Un gran conjunto de funcionalidades y bien diseñados modos de capas de radio enlaces para asegurar una muy alta eficiencia espectral.
- Robustez y mecanismos para soportar intensa interferencia considerada en el diseño de los sistemas.
- Servicios de conexión en modo paquetes (fundamentalmente protocolo IP) como circuitos.
- Posibilidad de traspaso de redes 3G a 2G para minimizar costos de implementación y aprovechar la cobertura existente en 2G.
- Posibilidad de compartir infraestructura de sitios con BS de segunda generación. Se pretende utilizar la infraestructura de 2G tanto como sea posible.

Dentro del proceso de estandarización, se fue evaluando las diferentes candidaturas que se presentaron, sujetas a variaciones y aproximaciones entre algunas de ellas. Una consecuencia del proceso de estandarización fue la conformación de foros de especificación ligados a las diferentes propuestas, como el 3GPP responsable de la confección de especificaciones para la propuesta UTRA, y el 3GPP2, para la creación de especificaciones para la propuesta CDMA 2000.

El *Release* 1999, ó 99, fue la primera especificación obtenida para UMTS, pero si bien ésta, mediante la interfaz de aire WCDMA, era un gran paso para el acceso radio de las redes GSM, el núcleo de red de UMTS no experimentaba mayores cambios.

El *Release* 4 ya incluía modificaciones en el núcleo de la red, especialmente en la conmutación de circuitos (CS), donde el MSC fue dividido en servidor MSC y *Media Gateway* (MGW). También el GMSC fue dividido en servidor GMSC y MGW.

El *Release* 5 incluye la primera especificación para el IMS (*IP/Multimedia Sub-system*), el cual ya pondrá a disposición todos los servicios en el dominio PS. [1]

3 Arquitectura de red

UMTS se basa en las arquitecturas definidas por los sistemas móviles de anteriores generaciones, ver fig. 1. A partir del *Release* 99, funcionalmente, los elementos de la red son agrupados en la red de acceso radio (*Radio Access Network*), o, según definió la 3GPP: UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) que es el encargado de manejar todos los recursos y funcionalidades relacionados con la interfaz radio; el núcleo de red (CN/*Core Network*), responsable de la conmutación y el enrutamiento; y para completar el sistema, el equipamiento de usuario (UE/*User Equipment*) que es el relacionador directo entre el usuario y la red de radio. [1]

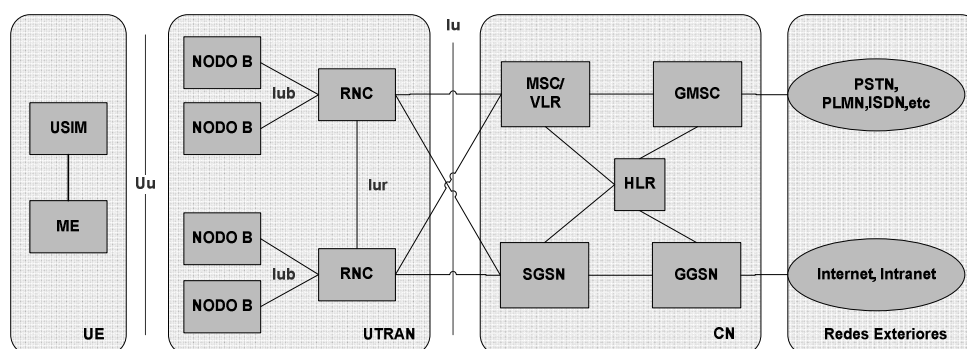


Figura 1: Arquitectura de red UMTS

3.1 HSDPA vs. Release 99

A partir del *Release* 5 de UMTS el CN introdujo cambios significativos al considerar una plataforma completamente IP, la presencia y mejora con HSDPA se encuentra principalmente en la red de acceso.

En *Release* 99 existían básicamente tres métodos diferentes para el *downlink* de los paquetes de datos: DCH, FACH y DSCH.

En la especificación para HSDPA, se introducen un nuevo método para el *downlink*, el HS-DSCH *High Speed Downlink Shared Channel*, o canal compartido de bajada de alta velocidad.

Varios canales complementarios se han introducido para HSDPA, como ser el HS-DSCH junto a su correspondiente canal físico. Para la señalización necesaria se introducen dos nuevos canales: *High Speed Shared Control Channel* (HS-SCCH) en el *downlink* y *High Speed Dedicated Physical Control Channel* (HS-DPCCH) en el *uplink*.

La principal labor del canal de alta velocidad, es adecuar el esquema de modulación y codificación empleado cada intervalo de tiempo de 2 ms, de acuerdo a las condiciones de propagación, y así, asignar grandes porciones de ancho de banda al usuario.

4 Técnicas de acceso al medio

El primer paso para la planificación de una red celular es considerar y analizar la técnica de acceso al medio utilizada.

Se distinguen tres tipos de técnicas de acceso para los sistemas celulares: acceso al medio por división de frecuencia (*Frequency Division Multiple Access* – FDMA), acceso al medio por división de tiempo (*Time Division Multiple Access* - TDMA) y acceso al medio por división de código (*Code Division Multiple Access* - CDMA) [3].

Las técnicas de acceso al medio garantizan que los usuarios concurrentes accedan al medio inalámbrico en forma idealmente no-interferente sea en el dominio de tiempo, frecuencia o código.

FDMA posibilita el simultáneo uso de una banda de frecuencia por varios usuarios, donde a cada usuario se le asigna una porción de toda la banda. En TDMA se les asigna a los usuarios, ranuras de tiempo ortogonales y en CDMA distintos códigos de esparcimiento, ver fig. 2.

En resumen, la técnica de acceso facilita un óptimo uso de los recursos disponibles y su fácil gestión. Para incrementar la flexibilidad, técnicas de acceso híbridas han sido desarrolladas y empleadas en diferentes sistemas de comunicación.

Las redes de primera generación usaron FDMA como técnica de acceso, por ello, la base del proceso de planificación consistía en la agregación de celdas a clusters, donde cada celda tenía una única frecuencia. El desempeño de la red estaba limitado por el nivel de interferencia entre celdas.

El proceso de planificación y optimización no cambio dramáticamente con la introducción de las redes de segunda generación (2G). Los avances en la tecnología posibilitaron extensiones híbridas al dominio de tiempo, conduciendo a redes mas flexibles FDMA/TDMA como es el caso de GSM.

Para los sistemas 2G, nuevas complicaciones surgieron en el proceso de planificación: la sincronización, la asignación dinámica de canales y el salto de frecuencias (*Frequency Hopping*).

Tradicionalmente, la principal opción para la localización de los sitios eran las intersecciones de rejillas triangulares, concretamente, cubriendo con celdas de forma

hexagonal. Existen muchas razones por las cuales esta aproximación ha sido tan bien aceptada y aplicada para la planificación de redes celulares.

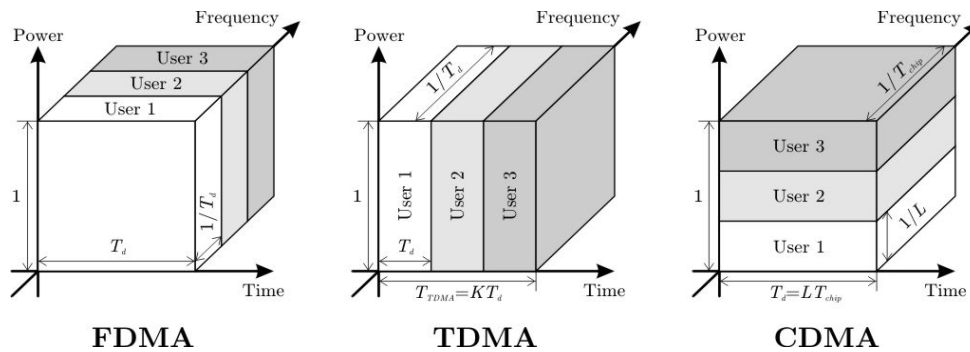


Figura 2: Técnicas de acceso al medio

La principal razón es su simplicidad analítica. En efecto, las celdas llegarían a cubrir uniformemente cualquier superficie y también se logra una buena aproximación a las antenas de las estaciones base. La elección del aspecto hexagonal es aun más justificada mediante el empleo de antenas de tres sectores. Sin embargo, la aproximación de superficies regulares es resultado de una suposición de un ambiente de propagación homogéneo, es por ello, que una vez que se introduce en un escenario de propagación real, la simetría de los arreglos de celdas regulares desaparece.

En la comunidad de radio propagación, es ampliamente conocido que las condiciones de propagación en áreas urbanas pueden destruir cualquier arreglo de celdas regulares o planes de frecuencia. Como ser las calles angostas que fácilmente se pueden convertir en ductos de interferencia.

Los arreglos hexagonales también se pierden cuando el tráfico de información no es uniforme, es decir, cuando se habla de multiservicios. Este fenómeno no es solamente propio de soluciones CDMA sino también en muchas otras tecnologías celulares aunque en diferentes formas.

Por todo esto, es que la técnica de acceso al medio realmente impacta en los arreglos de celdas, la localización de los sitios, y en general, el proceso de planificación de red.

5 Metodología de planificación

Para un sistema de acceso múltiple por división de código, como para cualquier otro sistema de telefonía celular, en principio es necesario asegurar una buena calidad de servicio (QoS) mediante una cobertura fiable. A diferencia de sistemas FDMA o TDMA el proceso de planificación, en WCDMA la planificación de cobertura e interferencia

debe ser realizada al mismo tiempo debido a que incrementos en la cobertura puede llegar a causar mayores niveles de interferencia, y cualquier mecanismo para controlar la interferencia podría provocar zonas sin cobertura. Tomando en cuenta que en WCDMA se comparte una frecuencia en toda la red, el proceso de planificación de torna arduo al tratar de conseguir el balance entre cobertura y capacidad.

Tomando en cuenta estos fenómenos se propone la siguiente metodología para realizar la planificación de la red de acceso radio en UMTS.

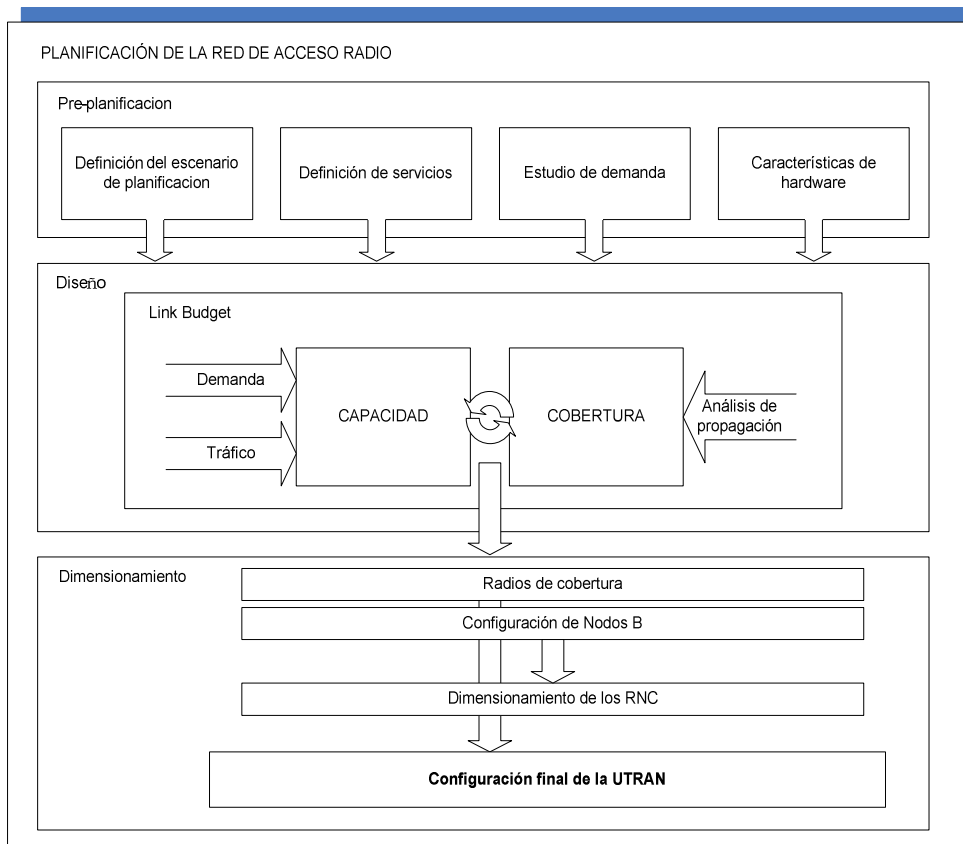


Figura 3: Metodología de planificación

Se proponen tres etapas, una etapa de pre planificación, otra de diseño y por ultimo una etapa de dimensionamiento.

El objetivo de la etapa de pre planificación es tener una clara concepción de la red a desplegar, que clase de recursos pueden ser usados y los aspectos claves para construir un plan de negocios, y así, asegurar la exitosa existencia de la red por un largo periodo.

La etapa de pre planificación, contempla todos los aspectos necesarios para poder diseñar la red. Parámetros necesarios para determinar la cobertura, capacidad y calidad de la red para los diferentes tipos de servicio.

La etapa de diseño, contempla la mayor complejidad del proceso de planificación, ya que mediante un *link budget* (Presupuesto del enlace) vincula el análisis de cobertura y el de capacidad, para así poder aterrizar en el equilibrio entre ambos enfoques.

La etapa de dimensionamiento determina el radio de cobertura tanto del enlace *uplink* como del *downlink*, también se obtiene las diferentes configuraciones de los nodos b y de los RNC, para así concluir con la propuesta de configuración de la red de acceso UTRAN.

5.1 Pre planificación

5.1.1 Definición del escenario de planificación

Según el trabajo realizado, se limita el área de cobertura en zonas urbanas y suburbanas de departamento de Cochabamba. De acuerdo con los indicadores socio-económicos provistos en el anexo A, se concluye que el proyecto queda limitado a las provincias de Cercado, Quillacollo y Sacaba, ubicadas en el ASL1 del departamento. Esto debido a que las localidades seleccionadas concentran la mayor densidad poblacional del departamento y los menores índices de pobreza. Por otro lado, en ellas se encuentra un desarrollo industrial elevado que fomenta la circulación monetaria.

5.1.1.1 Frecuencia de operación

Un aspecto determinante para la planificación de redes inalámbricas, es la frecuencia de operación, de acuerdo a requerimientos de la empresa se solicitó que se haga el estudio y dimensionamiento de la red en la banda de 900 MHz. La banda de frecuencias elegida para el efecto es la que se encuentra descrita en la siguiente figura, por encontrarse libre.

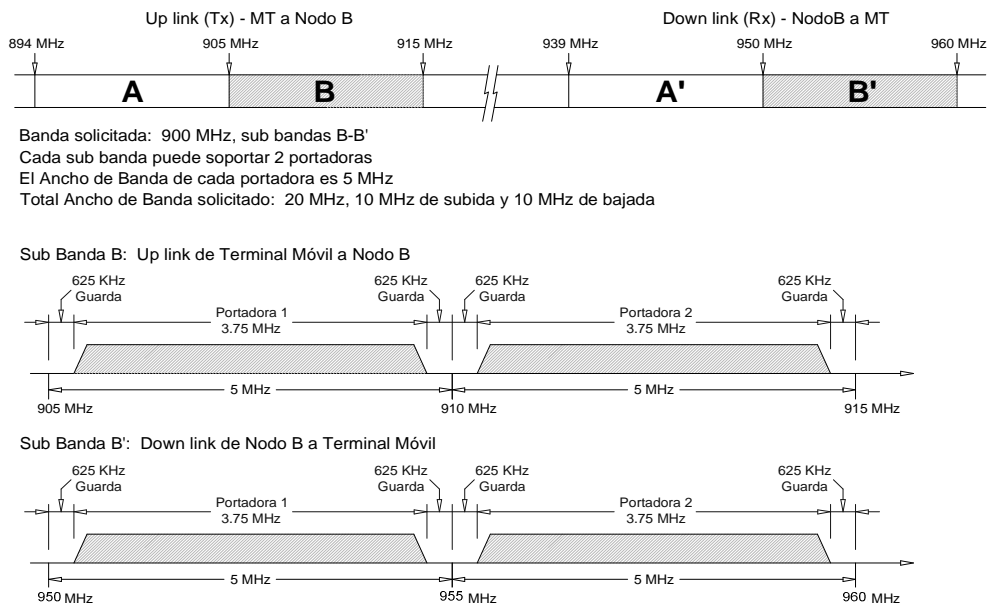


Figura 4: Banda de frecuencias, 900 MHz

5.1.1.2 Clasificación de los entornos

El alcance de la celda varía de acuerdo con el tipo de área cubierta: urbano denso, urbano, suburbano o rural. Los criterios para clasificar el área servida por las celdas son los que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Definición de entornos

Entorno	Descripción
Urbano denso	Áreas interiores del perímetro urbano, muy poca vegetación, alta densidad de edificios, calles angostas.
Urbano	Áreas interiores del perímetro urbano, poca vegetación, densidad de edificios, casas juntas, calles poco anchas.
Suburbano	Áreas exteriores del perímetro urbano, muy poca densidad de edificios, casas con jardines, barrios residenciales.
Rural	Campo abierto, con casas aisladas, terrenos agrícolas y poblaciones rurales.

Según la definición de las características geográficas de los entornos [2], se obtiene información útil sobre la propagación que tendrá la señal de acuerdo con su entorno y que se refleja directamente en la cobertura de la celda.

5.1.2 Definición de servicios

Para dar soporte a diferentes clases de servicios, los estándares 3G han definido cuatro clases de tráfico de usuario. La tabla abajo muestra un resumen de estas clases.

5.1.2.1 Conversacional

Esta clase se refiere a tráfico de tiempo real con ancho de banda constante, muy sensible al retardo y a la variación del retardo (*jitter*), y típicamente simétrico. Las aplicaciones típicas son la telefonía, la videoconferencia, VoIP.

5.1.2.2 Streaming

Se refiere a tráfico de tiempo real con ancho de banda constante, sensible al retardo y medianamente sensible al *jitter*, típicamente unidireccional. Las aplicaciones típicas son el *streaming* de audio (por ejemplo radio a través de la red), de video (televisión a través de la red) y de música (música en vivo a través de la red).

5.1.2.3 Interactivo

Se refiere a tráfico de tiempo no real con ancho de banda variable; no es sensible al retardo ni al *jitter*, sin embargo, requiere un ancho de banda mínimo para operar eficientemente. Aplicaciones de este tipo son los juegos interactivos *online*, la navegación *Web*, etc.

5.1.2.4 Background

Se refiere al tráfico sin calidad de servicio, que utiliza el ancho de banda remanente; no es sensible al retardo o *jitter*. Típicamente se asocia a las aplicaciones de mensajería, transferencia de archivos, etc.

5.1.3 Estudio de demanda

El método utilizado para estimar la demanda fue el de la curva logística, que es un modelo matemático usado para expresar la maduración de un servicio en la población, cuya expresión matemática es la siguiente:

$$\rho = \frac{S}{1 + e^{-k(t-t_0)}} \quad (\text{ec. 1})$$

Donde ρ es la penetración del servicio en abonados por 100 habitantes, t es el tiempo en años, S , k y t_0 son constantes. El valor de S se obtiene como el límite de cuando el tiempo t tiende a infinito. Este valor es conocido como la penetración de saturación. Para calcular las constantes k y t_0 se requieren dos puntos adicionales. Los puntos elegidos fueron el año actual y el año 10, cuando se supone que la penetración llegará al 60% de la saturación.

La siguiente figura muestra el comportamiento hipotético que tendrá la penetración de los servicios en el futuro.

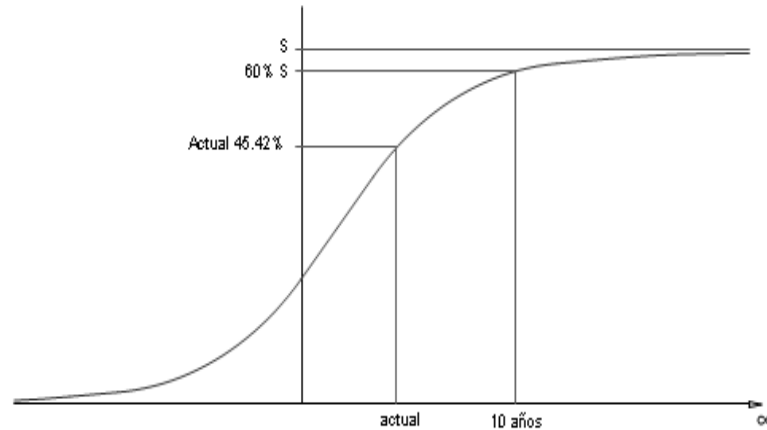


Figura 5: Curva logística

5.1.4 Aspectos de hardware

Los terminales móviles están cambiando notablemente, con la función de adaptarse a los nuevos contenidos y servicios, así como preparar al usuario a utilizar el móvil no solo para realizar llamadas telefónicas, sino para otros servicios como multimedia.

Los terminales ofertados a los usuarios están clasificados de acuerdo con sus necesidades o preferencias presentes y futuras, que pueden ser englobadas en las siguientes cuatro categorías [4]:

- **Todo en uno (Clase 3-2):** Son terminales que poseen todas las funcionalidades posibles actuales y que permiten consultar cualquier contenido y las aplicaciones definidas actualmente.
- **Enfocados a las aplicaciones (Clase 3-4):** Son dispositivos que permiten cualquier tipo de aplicación, pero están enfocados en cierto tipo de aplicaciones, tales como juegos o mensajería.
- **Modulares (Clase 2-1):** Son dispositivos que permiten al usuario particularizar su dispositivo con funcionalidades de *hardware*. Estas funcionalidades incluyen puertos USB, tarjetas de memoria, etc.
- **Descentralizados:** Son dispositivos que combinan una serie de elementos descentralizados y que se conectan entre sí para disponer de distintas funcionalidades.

En la tabla 3 se definen cuatro clases de potencias para los terminales con sus respectivos valores nominales y tolerancias.

Tabla 3. Potencias de los UE según clase

Clase	Potencia nominal	Tolerancia
Clase 1	33 dBm (2 W)	+1/-3 dB.
Clase 2	27 dBm (0.5 W)	+1/-3 dB.
Clase 3	24 dBm (0.25 W)	+1/-3 dB.
Clase 4	21 dBm (0.125 W)	+2/-2 dB.

5.2 Presupuesto del enlace o *link budget*

Dentro de la planificación de la UTRAN para UMTS, es necesario realizar un balance de potencias, o *link budget*, para así poder determinar el máximo radio de la celda. En el *link budget*, parámetros como la ganancia de la antena, pérdidas por cables, ganancias por diversidad, márgenes de desvanecimiento y otros son tomados en cuenta.

El resultado de los cálculos realizados para *link budget* es la máxima pérdida de propagación de trayecto permitida (*maximum allowed propagation path loss*), que es un valor imprescindible para poder determinar el radio de celda y, por ende, el número de sitios necesarios.

$$MAPL = ERP - R_{xsens} + R_{xgain} + loss + Propagationgain + loss \quad (\text{ec. 2})$$

A diferencia del *link budget* de tecnologías basadas en TDMA/FDMA y GSM, existen algunos parámetros que son específicos para WCDMA, como el margen de interferencia, el margen de desvanecimiento rápido y la ganancia por *soft handover*.

5.2.1 Nivel de sensibilidad de recepción

El nivel de sensibilidad de recepción es principalmente limitado por el ruido térmico. La densidad de potencia térmica espectral N normalizada a 1 Hz de ancho de banda, se define mediante la siguiente ecuación [2]:

$$\begin{aligned} N_o &= k * T \\ N_o &= (10 * \log(293K)) + (10 * \log(1.38 * 10^{-23} / 1mW)) \\ N_o &= 24.66dB - 198.60 \\ N_o &= 174dBm / Hz \end{aligned} \quad (\text{ec. 3})$$

Donde: $k = 1.38 * 10^{-23}$ [Ws/K], constante de Boltzman

$T = 293$ K, temperatura del conductor

La potencia total de ruido térmico N en el detector está limitada por el filtro del ancho de banda. Para UMTS, el filtro de ancho de banda de chips W es aproximadamente igual a la ocupación de la frecuencia de enmascarado de códigos (*scrambling codes*), igual a 3.84 MHz. Así, la potencia de ruido térmico es igual a:

$$\begin{aligned}
 N &= N_o * W \\
 N &= (-174.0 \text{ dBm} / \text{Hz}) + (10 * \log(3.84 \text{ MHz})) \quad (\text{ec. 4}) \\
 N &= -108.15 \text{ dBm}.
 \end{aligned}$$

La sensibilidad del receptor consiste en el nivel de ruido sobre una sola portadora, donde se define la relación señal-ruido (SNR) en el receptor. La sensibilidad contiene la ganancia de procesamiento y las pérdidas debido a la carga, es decir, la carga usada por los diferentes servicios montados sobre una portadora WCDMA.

$$S = SNR * N_o * W \quad (\text{ec. 5})$$

Donde:
$$SNR = \frac{E_b}{N_o} * \frac{R}{W * (1 - \eta)}$$

El mínimo nivel de señal recibido apto para la demodulación exitosa se basa en la cantidad de energía recibida y si esta energía está suficientemente por encima del ruido y la interferencia generada por el ruido térmico y el de los otros usuarios. La sensibilidad puede ser calculada por la siguiente fórmula:

$$\text{Sensibilidad} = N \cdot \frac{E_b}{N_o} \cdot GP \quad (\text{ec. 6})$$

Donde: GP: Ganancia de procesamiento

$$GP = 10 \cdot \text{Log}(3.84 \text{ Mchips} / R \text{ kbps})$$

Tabla 4. Cálculo de la sensibilidad en el balance de potencias

Datos del receptor	12.2 Kbps		64 Kbps		144 Kbps		384 Kbps	
	NB	UE	NB	UE	NB	UE	NB	UE
Ganancia por diversidad de la antena RX [dB]	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Ganancia de la antena RX [dBi]	18.00	1.00	18.00	1.00	18.00	1.00	18.00	1.00
Pérdida por cables [dB]	3.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00
Densidad de ruido térmico [dBm/Hz]	-174.00	-174.00	-174.00	-174.00	-174.00	-174.00	-174.00	-174.00
Figura de ruido del receptor [dB]	2.12	0.00	1.12	0.00	2.12	0.00	2.12	0.00
Potencia de ruido del receptor [dBm]	-106.04	-108.16	-107.04	-108.16	-106.04	-108.16	-106.04	-108.16
Eb/No Requerido [dB]	2.20	0.80	2.20	0.80	2.20	0.80	2.20	0.80
Tasa de datos [Kbps]	12.20	12.20	64.00	64.00	144.00	144.00	384.00	384.00
Nivel de sensibilidad del receptor [dBm]	-125.21	-128.03	-121.52	-124.43	-118.09	-121.61	-113.94	-117.15

5.2.2 Consideraciones en WCDMA para HSDPA

Para el despliegue de HSDPA, es necesario contar como base con el Release 99 de UMTS, ya que, al constituirse en una mejora y un aprovechamiento de la interfaz de aire de UMTS, HSDPA hace uso de todos los canales ya definidos para el Release 99.

A pesar que HSDPA es una característica del downlink, existen efectos adicionales en el uplink. El canal de subida HS-PDCCCH, que provee una retroalimentación a la red desde la estación móvil, debe ser tomado en cuenta. La interferencia adicional no es contemplada por E_b/N_o y, por ello, cierta potencia de transmisión del móvil debe ser reservada para este tráfico.

Otro margen adicional que debe ser tomado en cuenta viene a raíz de que el control de potencia para HS-DPCCH no es óptimo para los usuarios HSDPA que se encuentren ejerciendo soft handover.

El principal impacto de la introducción de HSDPA se encuentra en la dirección del downlink. La potencia adicional necesaria para las transmisiones HSDPA necesita ser definida, de manera que aún pueda disponerse de los canales DCH.

WCDMA, en el *Release 99*, típicamente usaba E_b/N_o para denotar la recepción de energía por bit recibido por razón de ruido. El E_b/N_o corresponde únicamente a un bloque de error (BLER) para una cierta tasa, donde el único parámetro de adaptación es la ganancia de esparcimiento. Sin embargo, la medida de E_b/N_o no es una medida atractiva para HSDPA, debido a que la tasa de datos en HS-DSCH varía en cada intervalo de transmisión (TTI), usando diferentes esquemas de modulación, codificación y un cierto número de HS-PDSCH. Por ello, es necesario definir la relación promedio señal-interferencia más ruido en HSDSCH (SINR).

$$SINR = SF_{16} \cdot \frac{P_{HSDPA}}{P_{TOT} \cdot \left(1 - \alpha + \frac{1}{G}\right)} \quad (\text{ec. 7})$$

Donde SF_{16} es el factor de ensanchado de HS-PDSCH, α es el factor de ortogonalidad y otro parámetro comúnmente usado es la relación misma celda vs. otras celdas más ruido de interferencia o factor de geometría. La 3GPP recomienda que, para un entorno macrocelular, SINR oscile entre valores de -5dB y -3dB. Se debe notar que el SINR HS-DSCH es independiente del número de códigos HS-PDSCH usados, el esquema de modulación y la tasa de codificación.

Para el proceso de dimensionamiento del enlace *downlink* HSDPA, se debe encontrar la relación entre el *throughput* promedio y la relación SINR promedio. Extendidas las simulaciones a nivel del enlace y de acuerdo con las especificaciones de la 3GPP, se consigue determinar una relación que involucre ambos valores:

$$Thr[Mbps] = 0.0039 \cdot SINR^2 + 0.0476 \cdot SINR + 0.1421 - 5dB \leq SINR \leq 20dB \quad (\text{ec. 8})$$

Donde *Thr* representa la carga que genera un usuario con un cierto SINR, o la carga combinada de la celda de varios usuarios teniendo como promedio el mismo SNR.

Tabla 5. Consideraciones para HSDPA

LINK BUDGET HSDPA	Características técnicas			
	UL	DL	Frecuencia [MHz]:	900
Transmisor	UE	NB	Potencia para canales HS-DSCH:	80%
Potencia máxima de transmisión	0.13	30.0	Tasa de datos uplink [Kbps]:	64
Potencia HS-DSCH	-	24.0	Tasa de datos downlink [Kbps]*:	512
Pot. máx. de transmisión [dBm]	21.0	43.8	Factor sobre venta en el uplink:	4
Ganancia de la antena [dBi]	2.0	18.0	Factor sobre venta en el downlink:	8
Cable loss including MHA intersection loss [dB]	0.0	3.0	Carga del uplink:	50%
EIRP [dBm]	23.0	58.8	Carga del downlink:	70%

* Por datos estratégicos en la empresa se definió que la vel. mínima para HSDPA sea 512 Kbps.

5.2.3 Margen de interferencia

El factor limitante para el desempeño y la capacidad de un Nodo B es la recepción total de interferencia I_{TOTAL} . La interferencia consiste de dos partes: I_{own} e I_{other} , como también la interferencia de otros sistemas $I_{Otros_sistemas}$ y el ruido térmico N .

$$I_{TOTAL} = I_{own} + I_{other} + I_{othe_systems} + N$$

- I_{own} : Es causada por la interferencia de los mismos usuarios dentro de una celda
- I_{other} : Es causada por usuarios de otras celdas junto a las estaciones base que los están atendiendo.
- $I_{other_systems}$: Viene de diferentes sistemas, canales adyacentes o fugas de potencias de otras tecnologías.

Estos conceptos ayudan a definir la relación: i – factor.

$$i = \frac{I_{other}}{I_{own}}$$

Se define como i – factor la relación existente entre la interferencia generada por las otras celdas sobre la interferencia generada por la misma celda. El valor i -factor depende del entorno de propagación, áreas de solapamiento de las celdas, número de sectores en el Nodo B, intensidad de tráfico y su distribución, y distancia a las celdas servidoras o celdas que interfieren.

Tabla 6. Valores típicos de factor i

Microcelda		Macrocelda			
Omnidireccional	Omnidireccional	2 Sectores	3 Sectores	4 sectores	6 Sectores
0.25<0.55	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85

El margen de interferencia en la celda se define como el total de interferencia sobre el ruido térmico.

$$IM = \frac{I_{TOTAL}}{N}$$

Este parámetro limita la sensibilidad de recepción, por lo tanto, es importante considerarlo para poder estimar la cobertura. Para el propósito de diseño y cálculo del balance de potencias, el IM es expresado como incremento de ruido o *noise rise*.

$$NR = 10 * \log(IM)$$

El NR representa la porción total de potencia recibida en dB. Típicamente este valor debe ir de 2 - 4 [dB] para celdas limitadas en cobertura y de 4 - 7 [dB] para celdas limitadas por capacidad [2].

El margen de interferencia es el único parámetro tomado en cuenta en balance de potencias que viene a estar relacionado directamente con la carga de la celda.

El NR también puede ser expresado en cuanto a la carga:

$$NR = 10 * \log\left(\frac{1}{1-\eta}\right)$$

El *noise rise* va a limitar la máxima pérdida de trayecto entre el móvil y el Nodo B. Si la carga se aproxima a 100%, el NR tiende a infinito; por ello, el radio de celda se hace cero y el sistema inestable.

Es necesario definir el porcentaje de carga de la celda, ya que este describirá cuánta interferencia es generada en la celda. Haciendo el estudio para el *uplink*, cuando η_{UL} se aproxima a 1, el *noise rise* generado tiende a infinito y el sistema llega a su capacidad máxima e inestable.

Según [1], para una red que se encuentra en la fase inicial de despliegue, es recomendable adoptar un porcentaje de carga en el *uplink* igual a 50-60%. Haciendo uso de Matlab, se simuló el comportamiento de la carga de la celda para diferentes tasas de datos.

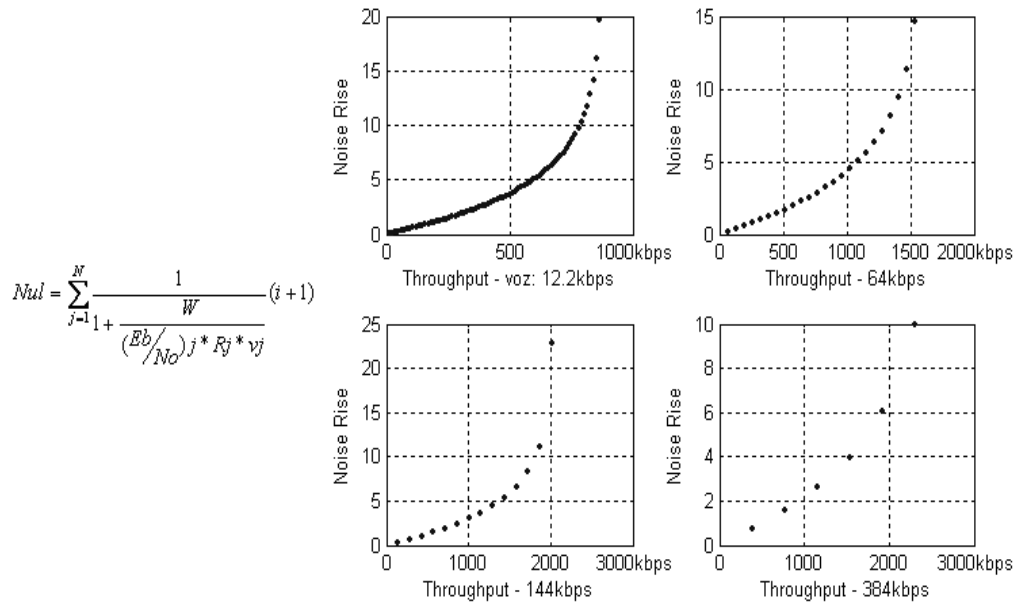


Figura 6: Nivel de interferencia uplink

En el gráfico obtenido mediante la simulación, en vez de mostrar los usuarios simultáneos, se muestra el caudal de tráfico o *throughput* en Kbps.

En el caso del enlace descendente, el comportamiento es similar; sólo los parámetros de entrada difieren ligeramente.

En comparación con la ecuación de carga del *uplink*, el parámetro de suma importancia es el factor de ortogonalidad α . UMTS hace uso de códigos de ortogonalidad en el enlace descendente para separar y diferenciar a los usuarios unos de otros. La ortogonalidad de 1 corresponde a usuarios perfectamente ortogonales. Típicamente estos valores están entre 0.4 y 0.5 en canales de multitrayecto [2].

$$Ndl = \sum_{j=1}^N v_j \frac{(Eb/N_0)^j}{W / R_j} [(1 - \alpha) + i]$$

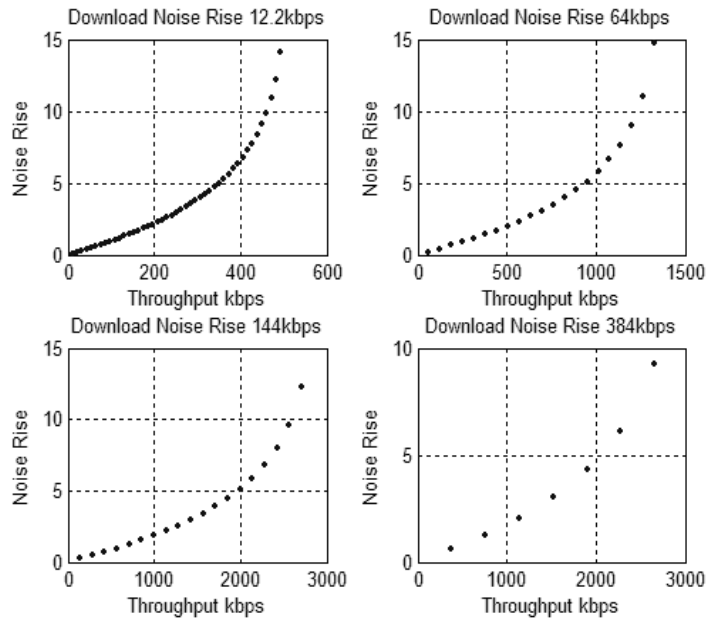


Figura 7: Nivel de interferencia downlink

Para una red UMTS, según [2], en dimensionamiento se recomienda adoptar una carga en el *downlink* igual a 70%-80%. Desde un punto de vista práctico y experiencia de trabajo con redes 3G dentro un escenario de despliegue real en Bolivia, se pudo corroborar que dentro la planificación y diseño de redes UMTS, Huawei, un fabricante de equipos de telecomunicaciones, realiza el dimensionamiento de red considerando un factor de carga igual a 75%.

Requerimientos de la empresa

Tasa de datos [Kbps]:	12.2	32	64	144	384
Frecuencia [MHz]:	900	900	900	900	900
Carga del uplink:	50%	50%	50%	50%	50%
Carga del downlink:	70%	70%	70%	70%	70%
Altura Nodo B [m]:	30	30	30	30	30
Altura terminal móvil [m]:	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

5.2.4 Cálculo de la máxima pérdida de propagación de trayecto permitida

Haciendo uso de todos los parámetros ya detallados, se determina la máxima pérdida de propagación de trayecto según diferentes tasas de velocidad y para diferentes entornos. Como ejemplo se muestra el cálculo de diferentes tasas de velocidad para un entorno urbano denso. Se determinan las máximas pérdidas de trayecto permitidas, tanto para interiores como para exteriores.

Tabla 7. Cálculo del link budget para diferentes velocidades en un entorno urbano denso

<i>LINK BUDGET</i> <i>UMTS</i>	Voz		Videollamadas		Datos 64Kbps		Datos 144 Kbps		Datos 384 Kbps	
	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
Transmisor	UE	NB	UE	NB	UE	NB	UE	NB	UE	NB
Potencia máxima de transmisión DCH	0.13	20.00	0.25	20.00	0.13	20.00	0.13	20.00	0.13	20.00
Potencia máxima de transmisión [dBm]	21.0	43.01	24.0	43.01	21.0	43.01	21.0	43.01	21.0	43.01
Ganancia de la antena [dBi]	2.00	18.00	2.00	18.00	2.00	18.00	2.00	18.00	2.00	18.00
Pérdida por cables incluyendo MHA [dB]	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00	3.00
EIRP [dBm]	23.0	58.01	26.0	58.01	23.0	58.01	23.0	58.01	23.0	58.01
Datos del receptor	NB	UE	NB	UE	NB	UE	NB	UE	NB	UE
Ganancia de antena RX por diversidad [dB]	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Ganancia de antena [dB]	18.00	1.00	18.00	1.00	18.00	1.00	18.00	1.00	18.00	18.00
Pérdida por cables [dB]	3.00	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00
Densidad de ruido térmico [dBm/Hz]	-174.00	-174.00	-174.00	-174.00	-174.00	-174.00	-174.00	-174.00	-174.00	-174.00
Figura de ruido del receptor [dB]	2.12	0.00	2.12	0.00	2.12	0.00	2.12	0.00	2.12	0.00
Potencia de ruido del receptor [dBm]	-106.04	-108.16	-106.04	-108.16	-106.04	-108.16	-106.04	-108.16	-106.04	-108.16
Eb/No [dB]	5.60	5.10	4.00	1.70	2.30	1.50	2.20	0.80	2.10	1.00
Nivel de sensibilidad del receptor [dBm]	-125.42	-128.04	-122.83	-127.25	-127.54	-130.46	-127.64	-129.40	-127.74	-126.19
Márgenes adicionales										
Noise rise (margen de interferencia) [dB]	3.01	5.23	3.01	5.23	3.01	5.23	3.01	5.23	3.01	5.23
Ganancia soft handover [dB]	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Margen para el desvanecimiento rápido [dB]	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Boddy loss [dB]	2.00	2.00	1.00	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Desbordes de potencias ajenas [dB]	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
Maximum allowable path loss [dB]	162.38	182.82	163.80	182.03	163.50	183.24	163.60	182.18	162.70	178.97
Probabilidad de cobertura outdoor	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Margen de desvanecimiento lento outdoor [dB]	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Max allowable path loss outdoor [dB]	155.38	175.82	156.80	175.03	156.50	176.24	156.60	175.18	155.70	171.97
Probabilidad de cobertura Indoor	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Pérdidas por penetración indoor [dB]	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
Margen de desvanecimiento lento indoor [dB]	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Max allowable path loss for indoor [dB]	145.38	155.82	146.80	155.03	146.50	156.24	146.40	155.18	145.70	151.97

5.3 Modelos de propagación y radio de celda

Las predicciones de los niveles de señal y cobertura son de gran importancia al momento de planificar una red de telefonía móvil.

Adoptar un modelo de propagación ayuda a predecir el valor medio de señal o las pérdidas generadas en la trayectoria entre un transmisor y un receptor según la distancia y otros factores que contribuyen a la pérdida de trayecto, como el perfil del terreno, presencia de edificaciones u obstáculos, alturas de las antenas transmisoras y receptoras, frecuencia de operación, etc.

El modelo COST 231 Walfisch-Ikegami es ampliamente usado en modelos empíricos de cálculo de propagación [3]. Este modelo ha sido adoptado como estándar para sistemas 3G IMT2000/UMTS. Para determinar los radios de coberturas de las celdas, se debe considerar la dirección del enlace, el tipo de entorno y la velocidad de transferencia, que permitan una menor pérdida de trayecto.

UMTS depende del intercambio de capacidad y cobertura. Estas variables están descritas por el comportamiento del enlace de subida y de bajada, conforme a la pérdida de camino que generan y la carga que soportan, respectivamente.

Con el fin de estudiar este fenómeno, se simuló el comportamiento del balance de potencias, tanto en el *uplink* como en el *downlink*, tomando como variable de entrada la carga que soportan, provista por las ecuaciones de carga η_{UL} y η_{DL} .

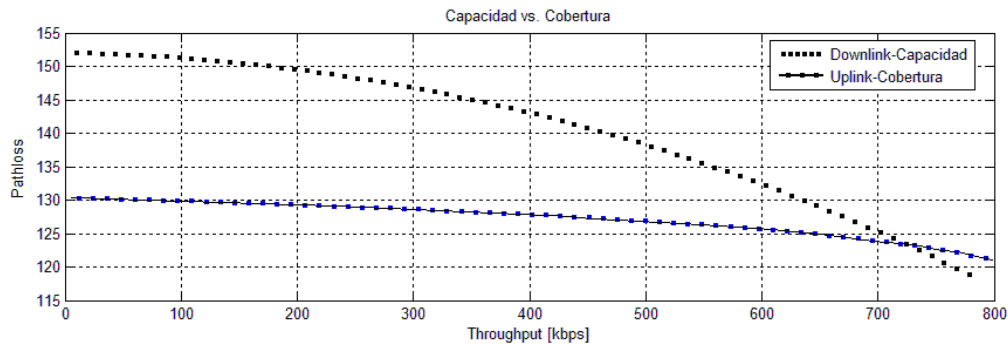


Figura 8: Intercambio de la capacidad y la cobertura

Como el alcance de la celda está limitado, sobre todo por el enlace de subida, terminal móvil a Nodo B, debido a las restricciones que tiene el transmisor en cuanto a potencia, tamaño de antena y a las interferencias de las señales provenientes de los otros terminales hacia el receptor, Nodo B, el cálculo del enlace realizado se limita al enlace de subida, *uplink budget*.

Tabla 8. MAPL limitado por el enlace ascendente

URBANO DENSO	12.2 Kbps		32 Kbps		64 Kbps		144 Kbps		384 Kbps	
	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
MAPL	162.38	182.82	163.8	182.03	163.5	183.24	163.6	182.18	162.7	178.97
MAPL outdoor	155.38	175.82	156.8	175.03	156.5	176.24	156.6	175.18	155.7	171.97
MAPL indoor	145.38	155.82	146.8	155.03	146.5	156.24	146.4	155.18	145.7	151.97
MAPL	162.38	182.82	162.8	182.03	162.5	183.24	162.6	182.18	162.7	178.97
MAPL outdoor	155.38	175.82	155.8	175.03	155.5	176.24	155.6	175.18	155.7	171.97
MAPL indoor	146.18	159.82	146.8	159.03	147	160.24	147.2	160.18	147.26	156.97
MAPL	162.38	182.82	162.8	182.03	162.5	183.24	162.6	182.18	162.7	178.97
MAPL outdoor	155.38	175.82	155.8	175.03	155.5	176.24	155.6	175.18	155.7	171.97
MAPL indoor	147.38	159.82	147.8	159.03	147.5	160.24	147.6	165.18	147.7	161.97

5.3.1 Cálculo del radio de celda por entorno

Aplicando el modelo de propagación seleccionado, se definen los radios de cobertura de las celdas:

$$L = L_{bf} + L_{rts} + L_{msd}$$

$$L = L_{bf} + L_{rts} + \left(-18 \log(\Delta h_t) + 54 + 18 \log(d_{tot}) + \left(-4 + 0.7 \left(\frac{f}{925} \right) \right) \log(f) - 9 \log(d_s) \right)$$

$$L = L_{bf} + L_{rts} + \left(-18 \log(1 + h_t - h_{rf}) + 54 + 18 \log(d_{tot}) + \left(-4 + 0.7 \left(\frac{f}{925} \right) \right) \log(f) - 9 \log(d_s) \right)$$

$$L = 32.4 + 20 \cdot \log(d_{tot}) + 20 \cdot \log(f) + L_{rts} - 18 \log(1 + h_t - h_{rf}) + 54 + 18 \log(d_{tot}) + \left(-4 + 0.7 \left(\frac{f}{925} \right) \right) \log(f) - 9 \log(d_s)$$

$$\log(d_{tot}) = \frac{L - L_{rts} + 18 \log(1 + h_t - h_{rf}) - 54 - \left(-4 + 0.7 \left(\frac{f}{925} \right) \right) \log(f) + 9 \log(d_s) - 32.4 - 20 \cdot \log(f)}{(20+18)}$$

$$d_{tot} = 10^{\frac{L - L_{rts} + 18 \log(1 + h_t - h_{rf}) - 54 - \left(-4 + 0.7 \left(\frac{f}{925} \right) \right) \log(f) + 9 \log(d_s) - 32.4 - 20 \cdot \log(f)}{(20+18)}}$$

Como el enlace que limita la cobertura es el *uplink*, se hace uso de la MAPL *indoor* para determinar el radio de cobertura.

De acuerdo con los resultados obtenidos de los radios de cobertura de las celdas, se definieron algunos sitios tentativos para la ubicación de los nodos b, ya que COMTECO es propietaria de dichos sitios.

Tabla 9. Resumen de radios de coberturas para diferentes entornos

	Sitio	12.2 Kbps		32 Kbps		64 Kbps		144 Kbps		384 Kbps		
		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	
	1	Sucre	2.060	3.877	2.245	3.697	2.205	3.978	2.191	3.730	2.098	3.071
U.D.	2	Centro	2.243	4.223	2.302	4.026	2.260	4.333	2.260	4.063	2.244	3.345
	3	Muyurina	2.571	5.876	2.670	5.602	2.703	6.028	2.736	6.006	2.742	4.944
U.	4	Sur	2.687	6.139	2.790	5.853	2.824	6.299	2.858	6.275	2.865	5.166
S.U.	5	Temporal	4.129	8.774	4.236	8.365	4.160	9.002	4.185	12.142	4.205	9.996
S.U.	6	V. Bush Sur	3.129	7.507	3.210	7.157	3.153	7.701	3.172	10.388	3.187	8.552
S.U.	7	Pacata	4.001	8.502	4.105	8.106	4.031	8.723	4.056	11.766	4.075	9.686
S.U.	8	Zofraco	5.264	8.262	5.400	7.877	5.303	8.476	5.335	11.433	5.361	9.412
S.U.	9	Pucara	3.361	6.308	3.449	6.014	3.386	6.472	3.407	8.729	3.424	7.186
S.U.	10	Sacaba	2.542	5.401	2.608	5.149	2.561	5.541	2.576	7.474	2.589	6.153
U.	11	Quillacollo	2.333	5.597	2.467	5.336	2.351	5.742	2.365	7.745	2.376	6.376
S.U.	12	Florida Sur	2.969	6.308	3.045	6.014	2.991	6.472	3.009	8.729	3.023	7.186
S.U.	13	Piñami	2.983	5.965	3.060	5.687	3.005	6.120	3.023	8.255	3.038	6.796
S.U.	14	Tiquipaya	3.183	5.973	3.265	5.695	3.207	6.128	3.226	8.266	3.242	6.805
S.U.	15	Feria	3.272	6.139	2.797	5.853	3.296	6.299	3.316	8.496	3.332	6.994
S.U.	16	Valle Hermoso	3.227	6.857	3.311	6.538	3.251	6.702	3.271	9.489	3.287	7.812

Según el entorno, se determinó que el radio de cobertura de la celda sea el menor permitido de entre todos los diferentes servicios ofertados. Para determinar el radio de cobertura de HSDPA, se debe considerar que éste variaría constantemente dependiendo de las condiciones del canal radio y de su esquema de modulación; las mayores velocidades de transferencia son alcanzadas cuando el UE está más próximo al Nodo B [1].

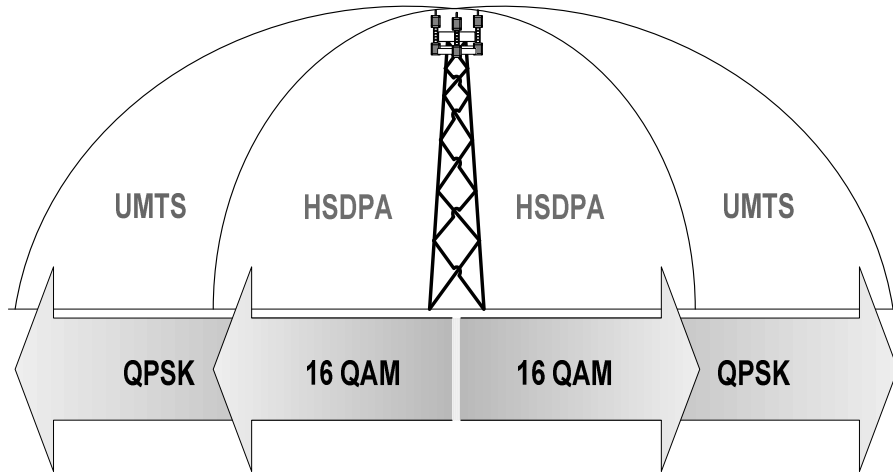


Figura 9: Modulaciones en UMTS/HSDPA

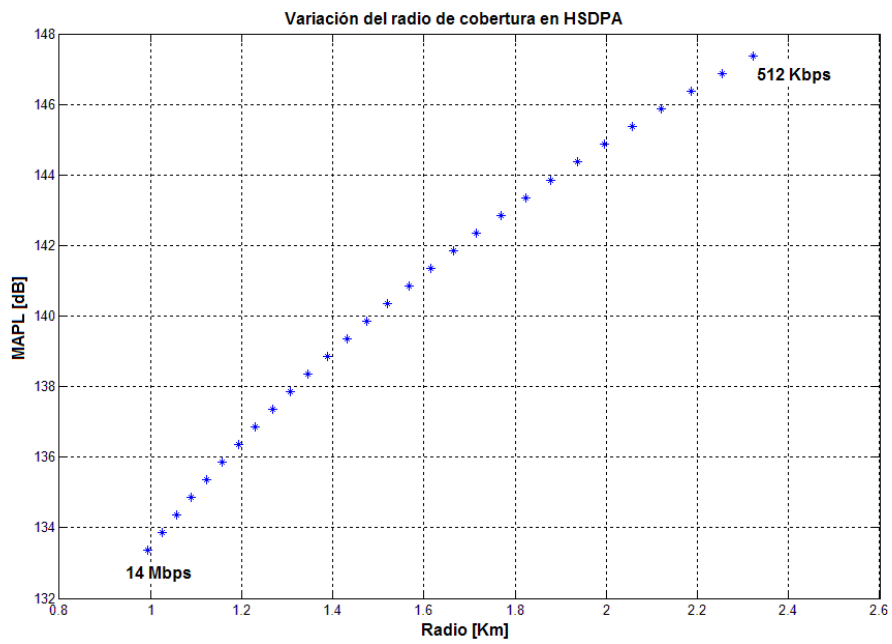


Figura 10: Variación radio de cobertura HSDPA

Para clasificar los entornos existentes en el proyecto, no es suficiente catalogarlos según sus características geográficas, sino más bien tomar en cuenta la densidad de usuarios potenciales que existan en ellos. Considerando que en Cochabamba no existe una fuente de información que refleje la cantidad de usuarios de servicios de telecomunicaciones, distribuidos por zonas, se hizo una analogía con el reporte de tráfico generado por las estaciones base de un operador de telefonía móvil del departamento.

Así se obtiene los porcentajes de concentración de usuarios potenciales por entorno, urbano denso, urbano y suburbano. Estos porcentajes fueron adoptados en el diseño para distribuir la demanda en los diferentes entornos por provincia.

Tabla 10. Distribución de la demanda

Entorno	Densidad	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CERCADO												
URBANO												
DENSO	34%	5,818	11,167	15,556	18,911	21,487	23,504	25,466	27,25	29,031	30,86	32,389
URBANO	27%	4,621	8,868	12,353	15,018	17,063	18,736	20,223	21,639	23,054	24,506	25,721
SUBURBANO	39%	6,674	12,809	17,844	21,693	24,647	27,064	29,211	31,257	33,301	35,398	37,152
SACABA												
SUBURBANO	100%	4,655	10,234	16,778	23,398	29,18	33,717	37,363	41,143	44,905	49,01	52,497
QUILLACOLLO												
URBANO	52%	4,825	10,408	16,82	23,401	29,36	34,7	39,812	45,081	50,761	57,007	62,596
SUBURBANO	48%	4,453	9,608	15,526	21,6	27,102	32,031	36,749	41,614	46,856	52,621	57,781

5.4 Cálculo del tráfico por celda

Para calcular el balance de potencias, se consideró un porcentaje de carga igual a 50% en el *uplink* y 70 % en el *downlink*.

Como se vio en los apartados anteriores, en UMTS, el enlace descendente es el que limita la capacidad de la celda, debido a que el Nodo B debe compartir la potencia entre todos los usuarios que se conectan a la red en la respectiva celda que atiende el Nodo B.

Para dimensionar la carga de la celda, se hizo uso de Matlab, en el que se desarrolló un simulador de modelo de tráfico, derivado de las ecuaciones de carga en el *downlink*. Siguiendo la metodología de planificación de radio, se debe llegar a un equilibrio entre la cobertura y la capacidad, mediante la validación del radio de cobertura ya establecido y otro conforme a un análisis de carga de la celda.

En este apartado se determinará la carga real de la celda según una cierta penetración de servicios recomendada por la UIT para redes 3G en Latinoamérica, y dicha carga real determinará la nueva MAPL de la celda.

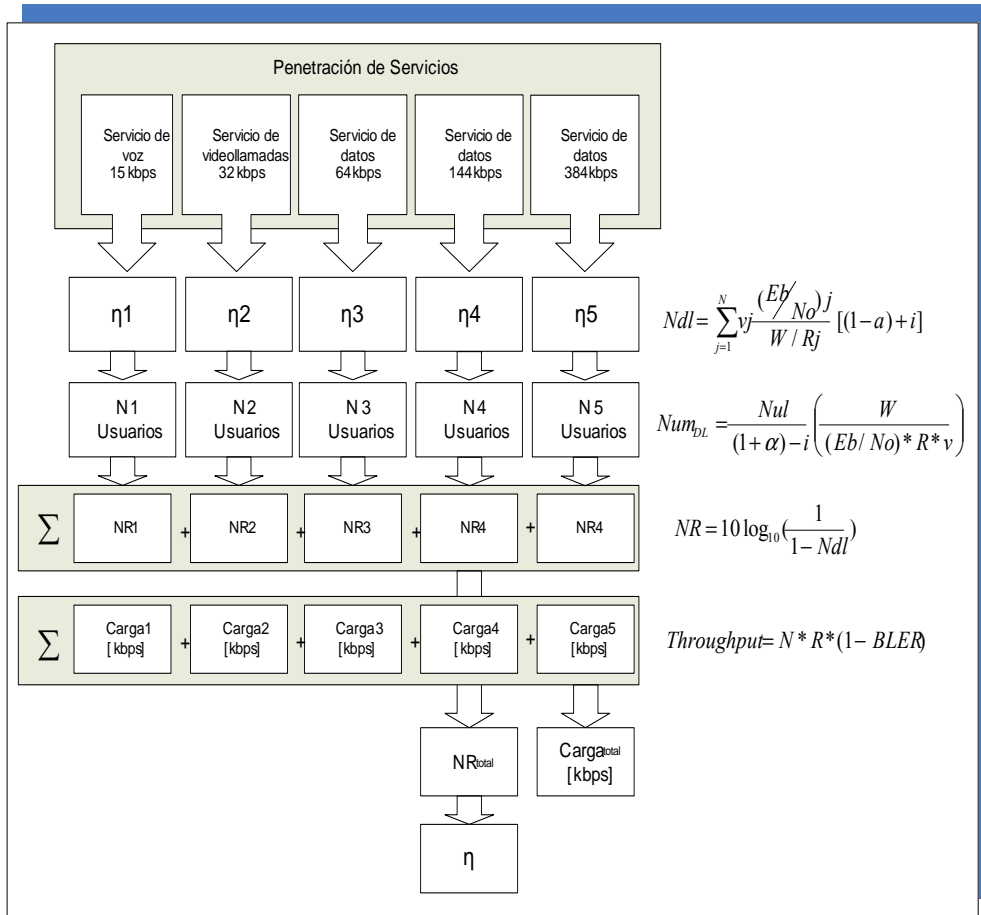


Figura 11: Planificación de capacidad

5.4.1 Tráfico generado por usuario

Para estimar el tráfico de voz que genera cada usuario, se adoptó los reportes anuales de un operador de telefonía móvil sobre la cantidad de minutos promedio que usa un cliente por mes (*Minutes of Use*).

$$Tráfico_hora_pico = \frac{Tráfico_mensual_ (MoU)}{30 * 24 * 60} * Relación_{intra_día} * Relación_{inter_día}$$

Donde:

$Relación_{intra_día}$: Relación de tráfico generado en la hora pico y el resto de horas del día.

$Relación_{inter_día}$: Relación de tráfico generado el día pico y el resto de días del mes.

El tráfico generado por videollamadas fue adoptado de valores recomendados por [3]. El tráfico de datos generado por los usuarios fue calculado a partir del tiempo promedio de visita a portales móviles.

En la primera fase del proyecto, se hizo la simulación del modelo de tráfico, con los valores de penetración correspondientes a ese periodo. Para describir los cálculos realizados, se tomará como ejemplo los resultados de una celda de dos sectores.

Carga por sector		1 carrier		Carga real [%] :			73.18	
Servicio	Penetración	Carga [Kbps]	Canales	Tráfico Promedio			Tráfico [Erl]	Usuarios
				mErl	Kbps/hr	GoS		
Voz	57%	567	42	12.08	-	1%	30.7	2542
Videollamadas	16%	201.6	7	13	-	1%	2.5	192
Datos 64k	12%	190.08	3	-	5.363	1%	0.4	35
Datos 144k	9%	285.12	2	-	12.072	1%	0.01	24
Datos 384k	6%	380.16	1	-	32.190	1%	0.01	12
TOTAL	100%	1623.96					33.62	2806

Carga por sitio		1 carrier		Tráfico x Usuario			2 Sectores	
Servicio	Penetración	Carga [Kbps]	Canales	Tráfico x Usuario			Tráfico [Erl]	Usuarios
				mErl	Kbps/hr	GoS		
Voz	57%	1134.00	84	12.08	-	1%	69	5714
Videollamadas	16%	403.2	14	13	-	1%	7.2	554
Datos 64k	12%	380.16	6	-	5.363	1%	1.9	71
Datos 144k	9%	570.24	4	-	12.072	1%	0.1	47
Datos 384k	6%	760.32	2	-	32.190	1%	0.1	24
HSDPA		1008.1						
TOTAL	100%	4256.02					78.3	6410

Tabla 11. Configuración básica de celda urbana de dos sectores (FASE 1)

El modelo desarrollado determina la carga en kbps por servicio, de acuerdo con una penetración de entrada y, por ende, la capacidad total de la celda. Según esa carga, es posible determinar los canales simultáneos por usuario. Los canales simultáneos generan un cierto nivel de interferencia en toda la celda y, por tanto, determinan el porcentaje de carga total de la celda.

En la primera fase se genera un nivel de carga de 73.18%, que es muy próximo al valor teórico adoptado en el inicio del dimensionamiento, igual a 70%, considerado para el cálculo de balance de potencias. En la segunda fase del proyecto se espera una mayor penetración de los servicios y un mayor nivel de interferencia en la celda.

En la segunda fase del proyecto se hizo la simulación con mayores niveles de penetración, de donde se obtuvo un nivel de interferencia mayor que en la primera fase. Este nivel de interferencia proporciona la carga total de la celda (87.47%), que, si bien es mayor, todavía no llegó a la unidad y, así, a la capacidad máxima de la celda.

Tabla 12. Configuración básica de celda urbana de dos sectores (FASE 2)

Carga por sector		1 carrier		Carga real [%] :			87.47	
Servicio	Penetración	Carga [Kbps]	Canales	Tráfico Promedio			Tráfico	Usuarios
				mErl	Kbps/hr	GoS	[Erl]	
Voz	74%	729	54	13.60	-	1%	41.6	3059
Videollamadas	23%	288	10	14.02	-	1%	4.4	338
Datos 64k	19%	316.8	5	-	5.363	1%	1.3	59
Datos 144k	14%	427.68	3	-	12.072	1%	0.1	35
Datos 384k	8%	380.16	1	-	32.190	1%	0.01	12
TOTAL	138%	2141.64					47.41	3504

Carga por sitio		1 carrier		Tráfico x Usuario			Tráfico	
2 sectores								
Servicio	Penetración	Carga [Kbps]	Canales	mErl	Kbps/hr	GoS	[Erl]	Usuarios
Voz	74%	1458	108	13.60	-	1%	91.6	6736
Videollamadas	23%	576	20	14.02	-	1%	12	923
Datos 64k	19%	633.6	10	-	5.363	1%	1.3	118
Datos 144k	14%	855.36	6	-	12.072	1%	0.8	71
Datos 384k	8%	760.32	2	-	32.190	1%	0.1	24
HSDPA		1733.6						
TOTAL	138%	6016.88					105.8	7872

De acuerdo con el porcentaje de carga real en el downlink, determinado desde el punto de vista de capacidad del Nodo B, se procedió a determinar la variabilidad del radio de cobertura con los nuevos valores de carga.

Tabla 13. Variabilidad del radio de celda

	Sitio	UL [Km]	DL con 70% de Carga [Km]	DL con porcentaje de carga según en análisis de capacidad [Km]	Diferencia [Km]
U.D.	Sucre	2.060	3.877	3.714	0.163
	Centro	2.243	4.223	4.046	0.178
U.	Muyurina	2.571	5.876	5.705	0.171
	Sur	2.687	6.139	5.961	0.178
SU	Temporal	4.129	8.774	8.519	0.255
SU	V. Bush Sur	3.129	7.507	7.288	0.218
SU	Pacata	4.001	8.502	8.255	0.247
SU	Zofraco	5.264	8.262	8.004	0.258
SU	Pucara	3.361	6.308	6.125	0.183
SU	Sacaba	2.542	5.401	5.244	0.157
U.	Quillacollo	2.333	5.597	5.434	0.163
SU	Florida Sur	2.969	6.308	6.125	0.183
SU	Piñami	2.983	5.965	5.792	0.173
SU	Tiquipaya	3.183	5.973	5.800	0.174
SU	Feria	3.272	6.139	5.961	0.178
SU	Valle Hermoso	3.227	6.857	6.658	0.199

Según los nuevos valores de los radios de cobertura obtenidos, se puede apreciar que no existe una cuantiosa reducción en el radio de celda. Por tanto, se puede afinar que se llegó al balance entre cobertura y capacidad.

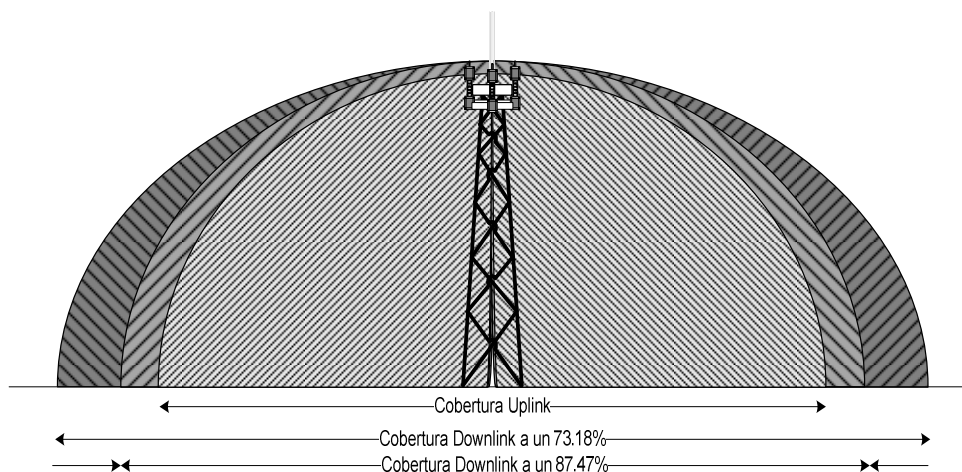


Figura 12: Variación del radio de cobertura conforme al equilibrio entre la cobertura y capacidad.

6 Conclusiones

En este trabajo de investigación se ha abordado el dimensionamiento de la red de acceso radio UTRAN, con el objetivo fundamental de optimizar los recursos de transmisión y soporte de QoS. También se ha analizado los principales parámetros y alternativas de diseño a considerar en un escenario de despliegue real para COMTECO.

A lo largo del análisis, se ha puesto de manifiesto la extraordinaria complejidad asociada con el dimensionamiento de UTRAN. Así, se dio lugar al presente trabajo para solucionar el problema desde un enfoque analítico, asegurando el equilibrio entre la cobertura y capacidad. Empero, se consideró necesario, para la fase de implantación del proyecto, que se validen los resultados obtenidos mediante el uso de herramientas específicas de planificación y optimización de redes 3G, propias del fabricante. En la misma línea, se consideró acometer un estudio más exhaustivo del impacto que puedan tener los mecanismos de gestión de tráfico y gestión de recursos de radio.

Referencias

- [1] Holma, H. y A. Toskala. 2007. *WCDMA for UMTS-HSPA Evolution and LTE*. John Wiley & Sons Ltda. Inglaterra
- [2] Nawrocki, M., M. Dohler y H. Aghvanmi. 2006. *Understanding UMTS Radio Network Modelling, Planning and Automated Optimization. Theory and Practice*. John Wiley & Sons Ltda. Inglaterra

- [3] Wacker, A., J. Laiho y T. Novosad. 2006. *Radio Network Planning and Optimization for UMTS*. John Wiley & Sons Ltda. Inglaterra
- [4] Chevallier, C. 2006. *WCDMA (UMTS) Deployment Handbook. Planning and Optimization Aspects*. John Wiley & Sons Ltda. Inglaterra
- [5] Holma, H. y A. Toskala. 2006. *HSDPA/HSUPA for UMTS*. John Wiley & Sons Ltda. Inglaterra