

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**



**“DISEÑO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN MÓVIL UTILIZANDO  
TECNOLOGÍA 3G EN LA CIUDAD DE IQUITOS”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**LOZANO AGUEDO, GENNER DANIEL**

**Villa El Salvador  
2015**

## **Dedicatoria**

A mis padres quienes me apoyaron todo el tiempo.

A mis maestros quienes sin ellos no hubiera sido posible llegar a finalizar  
este trabajo.

## **Agradecimientos**

Aprovecho esta oportunidad para agradecer a todas aquellas personas que de una forma u otra me han apoyado durante este largo trayecto.

A Dios, por inquietarme a estudiar Ing. Electrónica y Telecomunicaciones. Porque siempre ha estado presente en mi toma de decisiones especialmente en mis momentos más difíciles. Gracias a Dios por no abandonarme nunca.

## INDICE

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos .....	iii
Listado de Figuras .....	4
Listado de Tablas.....	5
Introducción .....	6
Capítulo I: Planteamiento del problema.....	8
1.1 Descripción de la Realidad Problemática .....	8
1.2 Justificación del Problema .....	8
1.3 Delimitación del Proyecto .....	9
1.3.1 Conceptual.....	9
1.3.2 Temporal.....	9
1.3.3 Espacial.....	9
1.4 Formulación del Problema .....	9
1.4.1 Problema Principal .....	9
1.4.2 Problemas Específicos.....	10
1.5 Objetivos.....	10
1.5.1 Objetivo General .....	10
1.5.2 Objetivos Específicos .....	10
Capitulo II: Marco Teórico .....	11
2.1 Antecedentes de la Investigación .....	11
2.2 Bases Teóricas.....	12

2.2.1	Redes de Telecomunicaciones .....	12
2.2.2	Tipos de Redes .....	13
2.2.3	Elementos de la Telefonía Celular. ....	13
2.2.4	Elementos de una red celular.....	21
2.2.5	Expansión del sistema celular .....	24
2.2.6	División de celda (cell splitting) .....	24
2.2.7	Celdas underlay-overlay.....	25
2.2.8	Sectorización de células.....	25
2.2.9	Préstamo de frecuencias.....	26
2.2.10	Técnicas de acceso al medio.....	26
2.2.11	Técnicas de duplexión .....	30
2.2.12	Sistema de conmutación punto-multipunto .....	32
2.2.13	Broadcast.....	32
2.2.14	Narrowcast.....	33
2.2.15	LMDS (Local multipoint distribution service) .....	33
2.2.16	MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service).....	34
2.2.17	Técnicas de conmutación .....	35
2.2.18	Tercera Generación Móvil 3G .....	36
2.2.19	Tecnología HSDPA.....	38
2.2.20	Arquitectura de la Red HSDPA .....	40
2.2.21	Adaptive Modulation and Coding (AMC) .....	42

2.3 Marco Conceptual.....	44
Capitulo III: Diseño de la Red de Comunicación Móvil.....	55
3.1 Análisis del Modelo y Herramienta .....	55
3.1.1 Xirio Online.....	56
3.1.2 Método Okumura-Hata modulado .....	59
3.1.3 Método Cost 231 .....	61
3.2 Diseño y simulación de la Red de Comunicación .....	66
3.2.1 Diseño de la cobertura de un Sistema Celular .....	66
3.2.2 Descripción del área a cubrir.....	66
3.2.3 Número de celdas por cobertura .....	67
3.2.4 Número de celdas por capacidad.....	68
3.2.5 Intensidad de tráfico .....	68
3.2.6 Red de Transporte .....	78
3.3 Discusión de los Resultados.....	82
Conclusiones .....	83
Recomendaciones .....	84
Bibliografía.....	85
Anexo.....	86

## Listado de Figuras

Figura 1 Celdas.....	13
Figura 2 Tipos de Celdas .....	15
Figura 3 Cluster Grupo de Celdas.....	16
Figura 4 Reutilización de frecuencias .....	18
Figura 5 Tipos de Hand Over.....	20
Figura 6 Estructura de comunicación Movil .....	22
Figura 7 Formas de sectores .....	25
Figura 8 Frecuencias en los sectores .....	26
Figura 9 Modulación .....	30
Figura 10 Diferencia FDD y TDD .....	32
Figura 11 Estructura de una red 3G .....	40
Figura 12 Modulación QAM .....	43
Figura 13 Xirio Online .....	56
Figura 14 Xirio Online Pantalla Principal.....	57
Figura 15 Margen de desviación Modelo Okumura Hata .....	59
Figura 16 Escenario Típico de propagación NLOS (Perfil).....	63
Figura 17 Escenario Típico de propagación NLOS (Superior) .....	63
Figura 18 Ciudad de Iquitos .....	67
Figura19 Celdas Sectoriales .....	70
Figura 20 Ubicación de las estaciones y su cobertura .....	75
Figura 21 Cobertura de los sectores.....	75
Figura 22 Radio Enlace .....	79
Figura 23 Distancias entre los Radio Enlaces .....	80

## Listado de Tablas

Tabla 1 Iquitos Datos Demográficos .....	66
Tabla 2 Banda 1900 Mhz .....	71
Tabla 3 Banda 850 Mhz .....	72
Tabla 4 Banda 900 Mhz .....	72
Tabla 5 Banda 1700 Mhz .....	72
Tabla 6 Banda 700 Mhz .....	73
Tabla 7 Frecuencias Uplink-Downlink .....	73
Tabla 8 Ubicación de Nodos B .....	74
Tabla 9 Nodos B y sectores .....	74
Tabla 10 Datos para el cálculo .....	76
Tabla 11 Uplink (Pérdida de Propagación) .....	76
Tabla 12 Downlink (Pérdida de Propagación) .....	76
Tabla 13 Link Budget Uplink .....	77
Tabla 14 Link Budget Downlink .....	77
Tabla 15 Características del equipo RF .....	78
Tabla 16 Canalización para Radio Enlace (MTC) .....	79
Tabla 17 Cálculos de Radio Enlace .....	81



## Introducción

En la actualidad la telefonía móvil ha alcanzado un desarrollo tecnológico muy avanzado es así que constantemente las compañías de telefonía están buscando expandir su prestación de servicios

En nuestro país se muestra una variación bastante significativa, en lo que se refiere a los servicios de telefonía. Remontándonos a las cifras indicadoras del sector de telefonía en el año 1994, observamos que existía una tele-densidad de 0.2% (1994) en telefonía móvil, esto sumado a la escasez de tecnología, los elevados precios y largos periodos de adquisición, mostraban a Perú como un país incipiente en los servicios de telefonía y solo nos referimos al sector urbano, ya que la problemática era aún mayor en los sectores rurales. Esta situación ha ido cambiando a lo largo de estos años, debido al aporte de la inversión extranjera que ha conseguido mejorar la infraestructura de telecomunicaciones, sabemos que actualmente la tele-densidad en telefonía móvil es de 108.2% (Marzo - 2015); asimismo, los costos por los servicios han disminuido ocasionando que las empresas operadoras masifiquen dichos servicios. Es notable que la inversión privada juegue un rol muy importante en el rubro de las telecomunicaciones.

La tecnología celular surge como un medio para facilitar la comunicación entre personas que se encuentran a grandes distancias, ya sea por medio de la voz o la transmisión de datos. No obstante, este uso es ya simplemente la forma básica de ambas, ya que con el paso del tiempo, se han desarrollado nuevos usos y nuevos significados.

En el primer capítulo se menciona el problema con respecto a la comunicación móvil en la ciudad de Iquitos y cuál es la solución que se plantea realizar, también los objetivos que se pretende lograr.

En el segundo capítulo abarca el marco teórico, donde se recopiló información sobre la tecnología de tercera generación de telefonía móvil y su mejora la tecnología HSPDA.

En el tercer capítulo se ha realizado todos los cálculos de ingeniería, utilizando los métodos de propagación tanto para la cobertura de las antenas direccionales y los enlaces de radio frecuencia. De esta manera se realiza una comprobación de los cálculos obtenidos con los métodos de propagación con el software de diseño

## **Capítulo I: Planteamiento del problema**

### **1.1 Descripción de la Realidad Problemática**

Debido a la constante expansión de las compañías de telefonía en el territorio nacional es imprescindible que una nueva compañía de telecomunicaciones brinde cobertura en los diferentes departamentos del Perú a fin de mantenerse como una empresa competitiva. Teniendo en cuenta que la ciudad de Iquitos es la más grande de la Amazonía Peruana y la sexta más poblada del Perú, esta ciudad se convertiría en un punto muy importante en la cual la empresa deba invertir ya que actualmente solo se encuentra brindando servicio de comunicación móvil 3G un solo operador

Debido a la gran demanda de usuarios que requieren el uso de una variedad de alternativas para la comunicación móvil y que esto fomente la sana competencia entre operadores móviles de la región.

### **1.2 Justificación del Problema**

La actual tecnología utilizada para los equipos móviles por parte de las compañías móviles aparte de Movistar en la localidad de Iquitos es la tecnología 2G, la cual solo permite la comunicación de voz mas no la de datos,

es por ese motivo importante que se realice un proyecto de inversión en esta localidad. Este proyecto representará una mejora significativa en las comunicaciones, así como en su acceso a la educación, a la cultura y a mayores oportunidades de progreso, y permitirá seguir acercando lo mejor de la tecnología a los peruanos.

### **1.3 Delimitación del Proyecto**

En el presente trabajo solo se considera el diseño de la red de comunicación móvil para la ciudad de Iquitos más no la integración con la red central ubicada en Lima.

#### **1.3.1 Conceptual**

En el presente trabajo está limitado al uso de la tecnología 3G

#### **1.3.2 Temporal**

El presente trabajo se ha llevado a cabo desde Marzo del 2015 hasta Octubre 2015

#### **1.3.3 Espacial**

El presente estudio se ha realizado con la finalidad de realizarlo y/o ejecutarlo en el distrito de Iquitos

### **1.4 Formulación del Problema**

#### **1.4.1 Problema Principal**

¿Se Podrá realizar un diseño de telefonía móvil con tecnología 3G para el distrito de Iquitos?

Diseñar una red de telefonía móvil usando tecnología 3G en la ciudad de Iquitos

#### **1.4.2 Problemas Específicos**

No se cuenta con alternativas de comunicación móvil con la que los usuarios puedan elegir.

### **1.5 Objetivos**

#### **1.5.1 Objetivo General**

Diseñar una red de telefonía celular utilizando tecnología 3G para la ciudad de Iquitos.

#### **1.5.2 Objetivos Específicos**

Satisfacer y mejorar las necesidades de comunicación con otras alternativas de las que ya cuenta la población.

Describir aspectos teóricos, técnicos de la tecnología 3G

## Capítulo II: Marco Teórico

### 2.1 Antecedentes de la Investigación

El siguiente trabajo de investigación titulado ***DISEÑO DE UNA RED HSDPA EN LA CIUDAD DE HUANCAYO***, cuyo autor es ***Odalys Juliette Revilla Apac***, concluyó lo siguiente:

- La ciudad de Huancayo al tener un alto crecimiento económico hace que las empresas comiencen a invertir en ella. En el caso de empresas que desplegaron su red HSDPA ofreciendo servicio 3G hasta ahora sigue teniendo muy buena acogida por parte de los usuarios, esto quiere decir que si una nueva operadora entra con servicios 3G ofreciendo planes con precios promocionales para poder adquirir posicionamiento en el mercado tendría muy buena aceptación.
- Al usar una infraestructura compartida, los niveles de inversión disminuyen considerablemente ya que la inversión se centraría más en los equipos de telecomunicaciones de buena calidad.

También existe el trabajo de investigación cuyo título es ***DISEÑO DE UNA RED DE TELEFONIA MOVIL DE TERCERA GENERACION WCDMA PARA LA CIUDAD DE TACNA***, cuyo autor es ***Daniel Guillén Guevara***, concluyó lo siguiente:

- Durante el desarrollo del presente documento se investigó sobre la tecnología WCDMA, mediante los cálculos realizados se pudieron comprobar los valores teóricos que en la práctica se ven algo limitados por el entorno. Como por ejemplo, el valor pico de 2Mbps (DL) que en la práctica se puede dar para un número limitado de usuarios pues los mismos usuarios adyacentes, al registrarse por códigos, generan interferencia haciendo crecer el piso de ruido. Es por ello que no se toma para el cálculo del dimensionamiento.
- Se puede concluir además que la implementación de una red WCDMA, es factible.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Redes de Telecomunicaciones**

Se refiere a todo procedimiento que permite a un abonado hacer llegar a uno o varios usuarios determinados o eventuales información de cualquier naturaleza cuya actividad es desarrollada bajo la responsabilidad de determinada empresa o entidad, para ofrecer a sus usuarios una modalidad o tipo de telecomunicaciones, cuya utilización es de interés para los abonados; empleando para dicho procedimiento, cualquier sistema electromagnético para su transmisión y/o recepción.

## 2.2.2 Tipos de Redes

### 2.2.2.1 Redes Fijas

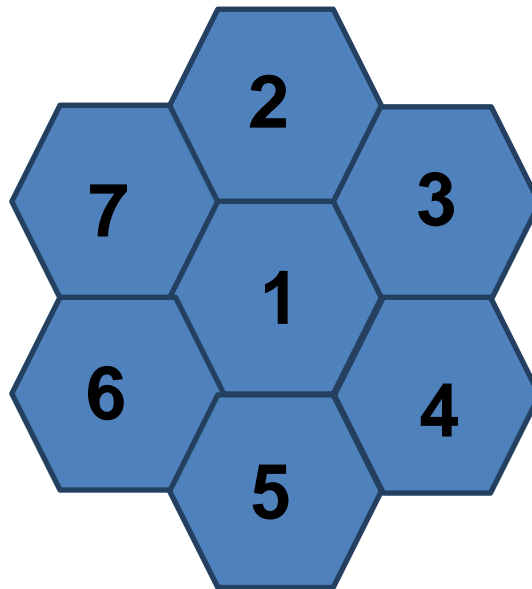
La red consiste en una sucesión de canales de comunicación, es decir, después de ser transmitida la información a través de un canal, llega a uno o varios usuarios fijos determinados, la característica principal y que a su vez viene a ser una limitación es que no permite mayor Movilidad.

### 2.2.2.2 Redes Móviles

Una red móvil describe cualquier enlace de radio comunicación entre 2 o más terminales, de los cuales al menos uno está en movimiento.

## 2.2.3 Elementos de la Telefonía Celular.

### 2.2.3.1 Celda o célula



**Figura 1 Celdas**

Elaboración Propia

Celda es cada una de las unidades básicas de cobertura en que se divide un sistema celular. Cada célula o celda contiene un transmisor que puede estar



en el centro, o en un vértice de la misma. El tamaño de la celda varía de acuerdo a la potencia del transmisor además de restricciones naturales o artificiales dependiendo del sector a cubrir y, lo más importante, del tamaño de la población y patrones de tráfico. Las celdas son normalmente diseñadas como hexágonos o círculos (figuras de seis lados), en una gran rejilla de hexágonos.

#### **2.2.3.1.1 Tipos de célula**

En un sistema celular se consideran distintos tipos de células, dependiendo de la demanda del servicio y de parámetros físicos propios del área en la cual se brindara el servicio, así se tiene diferentes tipos de celdas:

- a) Macroceldas
- b) Microceldas
- c) Picoceldas
- d) Celdas selectivas
- e) Celda de paraguas.

##### **a) MACROCELDAS**

Se entiende como macro célula aquella celda que proporciona cobertura con un alcance de algunos kilómetros; a saber: zonas rurales, zonas montañosas, autopistas, zonas residenciales, suburbanas.

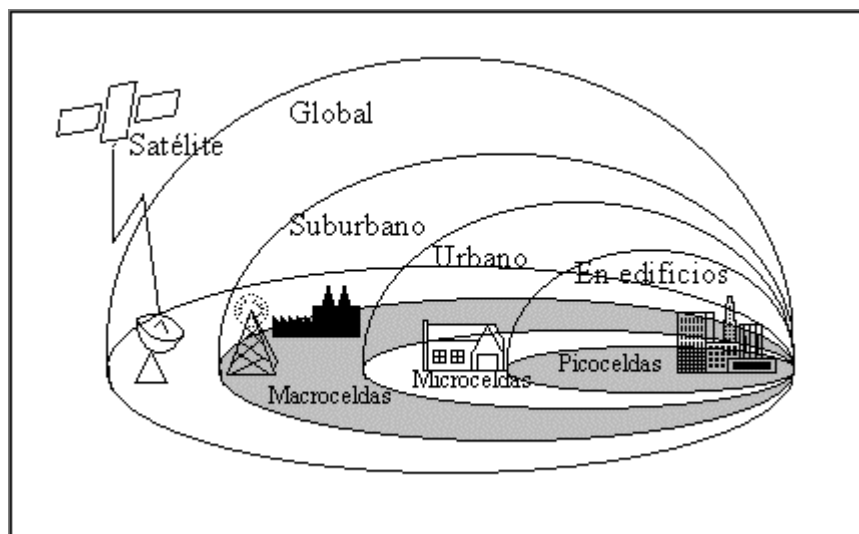
##### **b) MICROCELDAS**

Las micro células son, células urbanas cubiertas por estaciones base con antenas transmisoras colocadas por debajo de las alturas medias de los

edificios circundantes. El alcance es decir la (cobertura) suele ser inferior a 1 km.

### c) PICOCELDAS

Pico celdas estas se logran al reducir mucho más el tamaño de las celdas, (cobrimiento menor a 100 metros). Como se sabe, una reducción en el tamaño de una celda implica un aumento en su capacidad (manejo de tráfico), por lo que las pico celdas se utilizan para brindar cobertura en las zonas de muy alto tráfico, tales como centros de negocios.



**Figura 2 Tipos de Celdas**

Fuente: <http://www.revista.unam.mx>

### d) CELDAS SELECTIVAS

Las celdas selectivas son celdas destinadas a cubrir zonas con una cobertura menor a los 360 grados.

### e) CELDAS DE PARAGUAS

La celda de paraguas cubre varias micro células, se las emplea para disminuir el número de handovers que se producen en estaciones móviles que cambian rápidamente de micro celda y así disminuir el trabajo de la red .

#### 2.2.3.2 Cluster o racimo

Clusters es un conjunto o grupo de células. Entre todas, agrupan la totalidad de las frecuencias disponibles por la red celular. Sumando varios racimos es como se alcanza la cobertura final del sistema celular, el uso de las frecuencias en los clusters se realiza usando patrones de rehúso de frecuencia.

Ningún canal se vuelve a utilizar dentro de un cluster. Los clusters se agrupan en 4, 7, 12 o 21 celdas; en la Fig.1.2 se observa un cluster de cuatro células ( $N = 4$ ), un cluster de siete células ( $N = 7$ ).

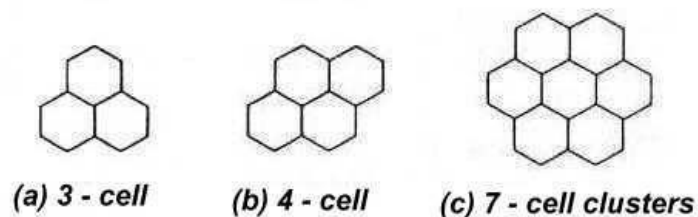


Figura 3 Cluster Grupo de Celdas

Fuente: <http://www.sabah.edu.my/cc044.wcdd/cellular-radio-system.html>

### **2.2.3.3 Cobertura celular**

Se entiende por cobertura celular la zona desde la cual un terminal móvil puede comunicarse con las estaciones base y viceversa. La cobertura o el alcance de la señal de radio de una red es la composición del alcance de la señal de radio de todas sus estaciones base y la unión de las características particulares del trayecto radioeléctrico.

Para diseñar una red de comunicaciones móviles desde el punto de vista de la cobertura debemos tener en cuenta la zona que se desea cubrir o zona de servicio, también es necesario que la señal de la estación móvil, en función de su capacidad de transmisión, pueda llegar hasta la estación de base.

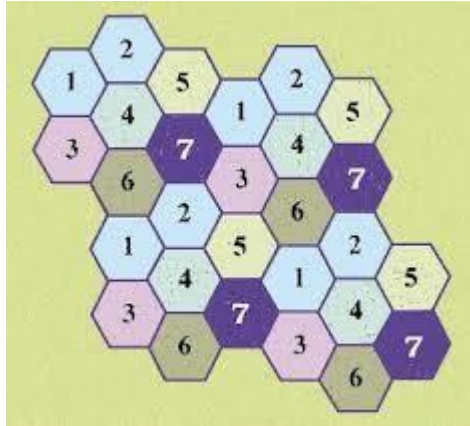
### **2.2.3.4 Capacidad celular**

Se refiere a la cantidad de usuarios que se pueden atender simultáneamente. Es un factor de mucha importancia, pues del adecuado dimensionamiento de la capacidad del sistema, según la demanda, depende la calidad del servicio que se preste al usuario. Esta capacidad se puede incrementar mediante el uso de técnicas tales como la reutilización de frecuencias, la asignación adaptativa de canal, el control de potencia, saltos de frecuencia, algoritmos de codificación, diversidad de antenas en la estación móvil, etc.

### **2.2.3.5 Reutilización de frecuencias**

La reutilización de frecuencias consiste en utilizar la misma banda de frecuencias varias veces de manera que sea posible aumentar la capacidad del sistema para un determinado ancho de banda  $B$ . Puede llevarse a cabo utilizando polarizaciones ortogonales o utilizando la misma banda de

frecuencias en distintos haces siempre que la separación angular sea **COBERTURA CELULAR** suficiente



**Figura 4 Reutilización de frecuencias**

**Fuente: <http://pinsim.com>**

### **2.2.3.6 Señalización**

Señalización es toda comunicación dedicada a gestionar los recursos del sistema para permitir la comunicación. Al hablar de comunicaciones celulares, se va a tratar de forma diferente la señalización asociada a la transmisión de radio y la relativa a la propia estructura de red. Funcionalmente, se podría distinguir entre:

- Señalización destinada a la gestión de los recursos de radio
- Señalización destinada a la gestión de la movilidad; y,
- Señalización destinada al establecimiento de la comunicación

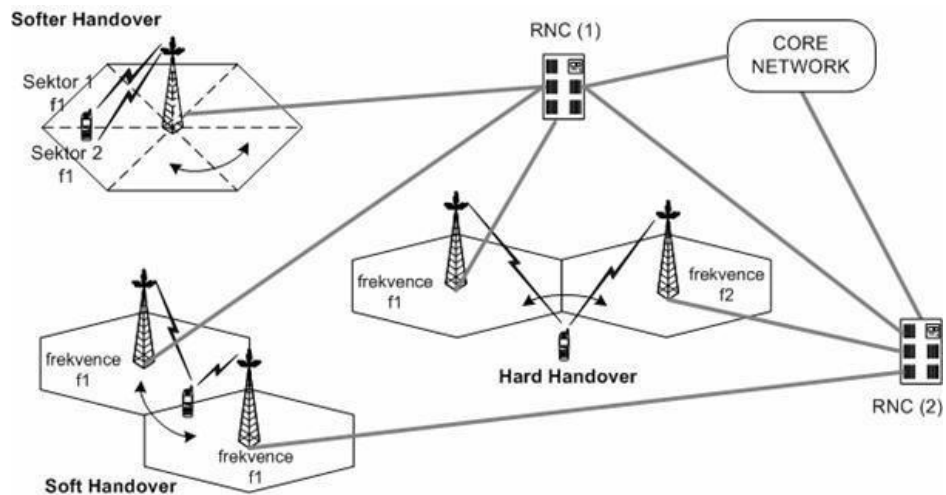
### **2.2.3.7 Hand over o traspaso**

Se denomina HAND-OVER al proceso mediante el cual se pasa una comunicación de un móvil de un canal a otro. Es lo que diferencia a un sistema celular de otro tipo de sistemas de radiocomunicaciones. En

función de la relación entre los canales origen y destino de la comunicación, los handover pueden clasificarse en:

- Handover de canales en la misma célula, ocurre cuando el canal destino se encuentra sobre otra frecuencia distinta a la del origen, pero en la misma célula.
- Handover de células pertenecientes al mismo MSC pero controladas por diferentes BTS (Figura 5), cuando hay cambio de célula y de controlador de estaciones base (BSC), pero ambos BSC dependen de la misma central de conmutación móvil (MSC).
- Handover de células controladas por diferentes MSC, se produce cuando hay cambio de célula y ambas células dependen de Centrales de Conmutación Móviles (MSC) distintas.

Los "handovers" como se ha mencionado anteriormente, son controlados por los MSC (Central de Conmutación Móvil), pero para evitar tráfico de señalización innecesario, los dos primeros tipos de "handover" son gestionados por la BSC (Estación Base Central) afectada. En estos casos al MSC sólo se le envía la notificación de que se ha realizado el "handover".



**Figura 5 Tipos de Hand Over**

**Fuente:** <http://telecom-engineer.blogspot.com>

### **2.2.3.8 Área de localización**

El área de localización es aquella formada por un conjunto de células, que determinan el área donde se encuentra el móvil y las células a través de las cuales se emitirá un mensaje de búsqueda para este móvil, en caso de llamadas entrantes al mismo.

### **2.2.3.9 Registro**

Registro es el proceso mediante el cual un móvil comunica a la red que está disponible para realizar y recibir llamadas. La red, por su parte, llevará a cabo una serie de intercambios de información con sus bases de datos antes de permitir o "registrar" al móvil. Gracias a este registro, la red sabrá en cada momento dónde localizar dicho móvil en caso de llegarle una llamada entrante.

### **2.2.3.10 Roaming o itinerancia**

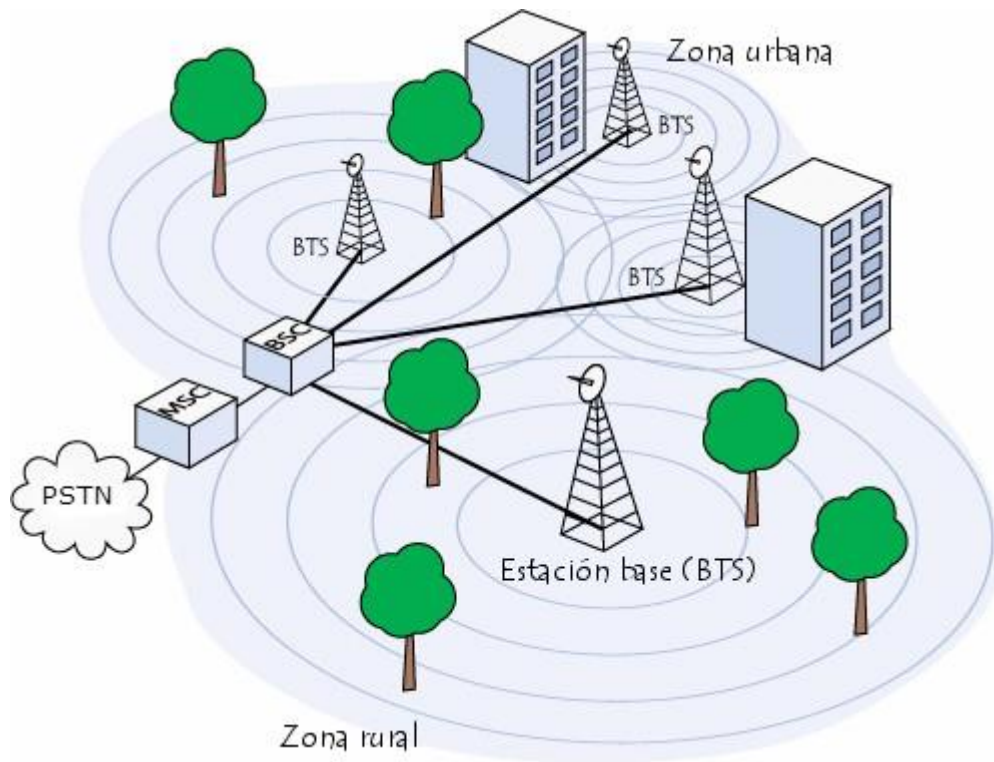
Es la capacidad que ofrece una red móvil para poder registrarse en cualquier VLR de la red. Actualmente, este concepto está comúnmente asociado al registro de un móvil en una red distinta de la propia.

### **2.2.4 Elementos de una red celular**

Una red celular contiene cuatro elementos principales, los cuales se enumeran a continuación (Figura 6)

- 1) Centro de Conmutación Móvil (MSC)
- 2) Registro de localización de abonados locales (HLR)
- 3) Registro de localización de abonados visitantes (VLR)
- 4) Estación Base Central (BSC).
- 5) Transceptor de Estación Base (BTS)
- 6) Red telefónica publica conmutada (PSTN)





**Figura 6 Estructura de comunicación Móvil**

**Fuente: <http://sanmiyaca.wikispaces.com/REDES+CELULARES>**

#### **2.2.4.1 Centro de conmutación móvil**

El centro de conmutación móvil lleva a cabo todas las funciones de conmutación que se requieren para las estaciones móviles que se localizan dentro de un área geográfica. Sus funciones principales son:

- Establecimiento y enrutamiento de llamadas de la estación móvil.
- Traducción de dígitos.
- Control y señalización de llamadas.
- Captura, formateo y teleprocesamiento de datos de facturación
- Handover entre MSC.
- Soporte de servicios complementarios.

#### **2.2.4.2 HLR (Registro de localización de abonados locales)**

HLR (Registro de Localización de abonados locales), es una base de datos que contiene información permanente del abonado (como información de aprovisionamiento y servicio) e información dinámica (como la ubicación actual de la estación móvil). Como su nombre lo indica, el HLR es la base de información local de la estación móvil.

#### **2.2.4.3 VLR (Registro de localización de abonados visitantes)**

Corresponde a las siglas en inglés "Visitor Location Register" es una base de datos en la cual se contiene toda la información del usuario necesaria para la provisión de los servicios durante la utilización de los mismos. El VLR tiene una copia de parte de los datos del HLR, referidos a aquellos clientes que se han registrado en la zona controlada por dicho VLR.

#### **2.2.4.4 Estación base central (BSC)**

El término Estación Base Central (BSC) se emplea para referirse a la ubicación física del equipo de radio que proporciona cobertura dentro de una célula.

Una estación base celular está compuesta de los siguientes elementos:

- Fuente de alimentación.
- Equipo común.
- Transceptores de frecuencia de radio.
- Sistema de antena.

#### **2.2.4.5 Estación base transceptora (BTS)**

Responsable de la recepción /transmisión aérea, permite la configuración a distancia (canales, potencia), además de un continuo monitoreo ante perturbaciones y fallas, los cuales quedan registrados. Maneja la interfaz de radio a la estación móvil. Es el equipo de radio (antenas y transceptores) necesarios para atender a cada celda en la red. Un grupo de BTSs es controlado por un BSC (Controlador de Estación Base).

#### **2.2.4.6 Red telefónica pública conmutada (PSTN)**

La PSTN está conformada por redes locales, redes del área de la central y redes de largo alcance que interconectan teléfonos y otros dispositivos de comunicación a nivel mundial

#### **2.2.5 Expansión del sistema celular**

Al existir una mayor demanda de tráfico los sistemas celulares deben ser capaces de brindar asistencia a una mayor cantidad de abonados para lo cual emplea técnicas de expansión del sistema celular. Entre estas técnicas tenemos las siguientes:

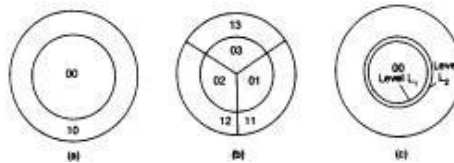
#### **2.2.6 División de celda (cell splitting)**

Cuando el tráfico de llamadas en un área se incrementa, se debe dividir la celda de tal modo que se pueda rehusar la frecuencia más a menudo, es decir que haya menor distancia entre celdas co-canal. Esto involucra reducir el radio de la celda a la mitad y dividir la vieja celda en 4 nuevas celdas pequeñas. Esto resulta en un incremento en la capacidad de tráfico en cuatro veces.

### 2.2.7 Celdas underlay-overlay

La capacidad de tráfico de una celda omnidirección o una celda direccional puede ser incrementada mediante el uso del arreglo underlay-overlay. El underlay es el círculo interno, y el overlay es el anillo exterior.

La potencia de transmisión de los canales de voz en la celda es ajustada para estas dos áreas, luego son asignadas diferentes frecuencias para canales de voz en cada área.

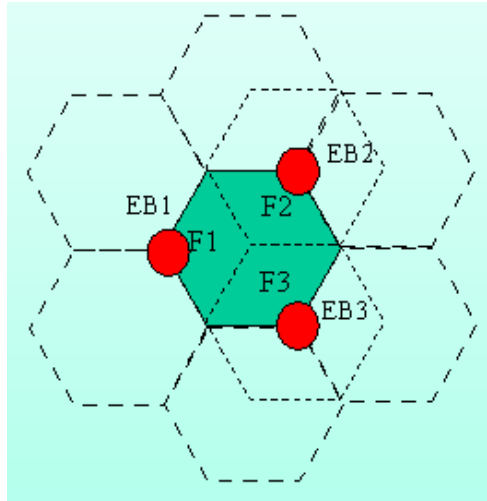


**Figura 7 Formas de sectores**

**Fuente: Introducción a la telefonía celular**

### 2.2.8 Sectorización de células

Consiste en dividir una célula en un conjunto de sectores, cada uno con sus propias frecuencias, a cada sector se le asigna un subconjunto de frecuencias y se usan antenas direccionales en la base, para dar cobertura a cada sector. Se suelen dividir desde 3 a 6 sectores.



**Figura 8 Frecuencias en los sectores**

**Fuente: <http://www.monografias.com/>**

### **2.2.9 Préstamo de frecuencias**

Fundamentalmente es asignar frecuencias de células de forma dinámica, Por ejemplo, frecuencias de células poco congestionadas a células congestionadas; las frecuencias utilizadas para este efecto son tomadas de células vecinas.

### **2.2.10 Técnicas de acceso al medio**

El acceso múltiple siempre es necesario en las redes en las que se ve implicada la comunicación en ambos sentidos entre las múltiples estaciones terrenas.

Se tienen tres métodos principales de acceso al medio: (FDMA) Acceso Múltiple por División de Frecuencia, (TDMA) Acceso Múltiple por División de Tiempo, (CDMA) Acceso Múltiple por División de Código; aunque existen otros como el FAMA (Acceso Múltiple por Asignación Fija) y el DAMA (Acceso Múltiple de Asignación por Demanda). Pero para el presente estudio se describirá brevemente solo los tres principales, estos son:

### **2.2.10.1 FDMA (Frequency division multiple access)**

Los sistemas celulares basados en FDMA formaron la base de los primeros sistemas celulares en el mundo. FDMA fue implementada en la banda de 800 MHz utilizando un ancho de banda de 30 kHz por canal.

Este esquema consiste en dividir el espectro disponible en varios canales de frecuencia de manera que cada usuario utiliza a la vez dos canales para su comunicación uno para el enlace de subida (con el que transmite información hacia la red) y el otro para el enlace de bajada (con el que recibe información desde la red).

Esta asignación de canales es exclusiva, de manera que los canales no pueden ser utilizados simultáneamente por más de un cliente y además cada uno de ellos está bordeado por pequeñas bandas de frecuencia que evitan solapamientos.

Características de FDMA:

- La señal transmitida a través del medio es analógica.
- Las señales de entrada siempre deben ser moduladas, para trasladarlas a la banda de frecuencia apropiada.

Si la señal de entrada es digital, se debe pasar a través de un modem para convertirla en analógica y posteriormente modularla.

### **2.2.10.2 TDMA (Time division multiple access)**

La tecnología TDMA (Time Division Multiple Access), comprime las conversaciones (digitales), y las envía cada una utilizando la señal de radio por un tercio de tiempo solamente. La compresión de la señal de voz es

posible debido a que la información digital puede ser reducida de tamaño por ser información binaria (unos y ceros).

En los sistemas inalámbricos que emplean el TDMA como técnica de acceso se tiene que gran cantidad de usuarios comparten el tiempo de una frecuencia portadora común, para comunicarse con su estación base.

Las señales TDMA están confinadas en ranuras de tiempo o slots, por lo que se transmiten en ráfagas. Entre ranura y ranura de tiempo deben dejarse los denominados tiempos de guarda, para evitar la interferencia entre los usuarios producto de los diferentes tiempos de propagación.

TDMA tiene la ventaja de poder ajustar la velocidad de flujo de información hacia y desde un usuario en particular, con la simple asignación de más ranuras a ese usuario.

TDMA soporta tres (3) transmisiones digitales sobre una frecuencia, lo cual es bastante para un limitado espectro de frecuencias.

### **2.2.10.3 CDMA (Code división multiple access)**

La tecnología CDMA (Code Division Multiple Access). Es muy diferente a la tecnología TDMA. La CDMA, después de digitalizar la información, la transmite a través de todo el ancho de banda disponible. Varias llamadas son sobrepuestas en el canal, y cada una tiene un código de secuencia único. De este modo los aparatos reciben todas las transmisiones, decodifican cada una de ellas logrando hallar el código correcto correspondiente. A esta tecnología de dispersar frecuencias por todo el espectro se le conoce como Dispersión espectral.

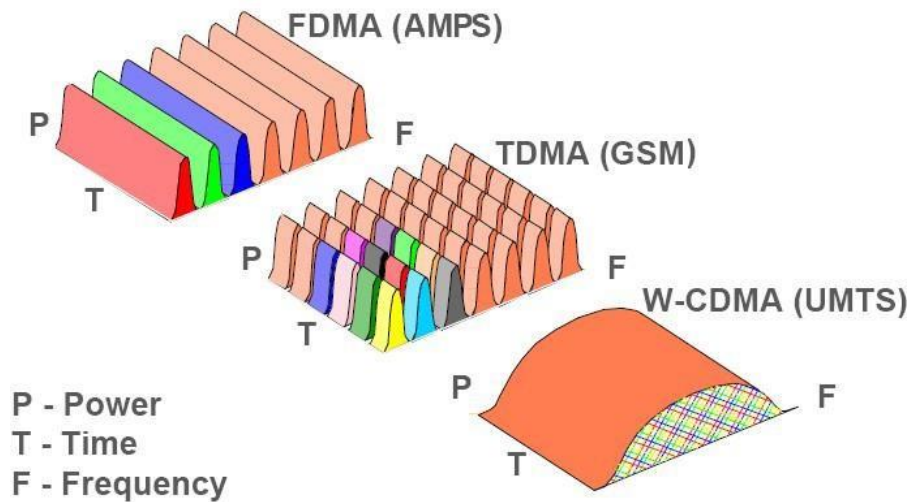
Usando la tecnología CDMA, es posible comprimir entre 8 y 10 llamadas digitales para que estas ocupen el mismo espacio que ocuparía una llamada en el sistema analógico. Para telefonía celular, CDMA es una técnica de acceso múltiple especificada por la TIA (Telecommunications Industry Association) como IS-95. Los sistemas IS-95 dividen el espectro en portadoras de 1.25 MHz.

Cada dispositivo que utiliza CDMA está programado con un pseudo código, el cual es usado para extender una señal de baja potencia sobre un espectro de frecuencia amplio. La estación base utiliza el mismo código en forma invertida (todos los ceros son unos y los unos ceros) para des-extender y reconstruir la señal original. Todos los otros códigos permanecen extendidos, indistinguibles del ruido de fondo.

Las ventajas de CDMA son:

- Contempla un método de control de energía diseñado para el ahorro de la batería y para ayudar a que no haya interferencias con otro canal. Así se establece una comunicación con el sitio celular receptor y el teléfono para mantener los niveles de potencia constantes.
- El handover (pase entre celdas). Cuando el teléfono cruza la frontera de una celda, la original continua proporcionando servicio al teléfono. La nueva celda se activa y el teléfono funciona en ambos sitios celulares hasta alcanzar la suficiente intensidad de señal de la nueva celda.
- No hay degradación notable de la calidad de transmisión durante el handover, lo cual es crítico en la transmisión de datos.





**Figura 9 Modulación**

**Fuente: Tecnologías Celulares de Tercera Generación y su evolución (Jorge Luis Herrera)**

### **2.2.11 Técnicas de duplexión.**

Se define como la conexión simultánea desde la estación móvil a la base (Reverse) y desde la base a la estación móvil (Forward). Se disponen de dos variantes:

#### **2.2.11.1 Frequency división duplex (FDD)**

El modo de transmisión FDD, los datos del usuario se transmiten continuos en el tiempo y van cambiando de frecuencia durante la comunicación. Estos saltos de frecuencia se utilizan para conseguir una transmisión Full- duplex, el enlace de subida y de bajada utiliza dos frecuencias diferentes (separadas entre ellas 190MHz).

Los sistemas de FDD simplifican los mecanismos de acceso para comunicaciones móviles que pueden involucrar grandes distancias, debido a las diferencias que pueden producirse en los tiempos de propagación.

FDD en cambio, sólo exige que la separación de frecuencia sea la suficiente como para que el filtro de entrada sea capaz de discriminar la señal transmitida de la recibida.

La tecnología de Tx FDD es adecuada para tráfico simétrico (voz, telefonía, videojuego, etc.) y ofrece movilidad total.

FDD está optimizada para cobertura de área amplia, como micro y macro celdas, ya que en estas se genera muy poco tráfico y tienen una cobertura más amplia porque hay menos densidad de personas; permite una transmisión de datos con una velocidad de 384Kbps en alta movilidad.

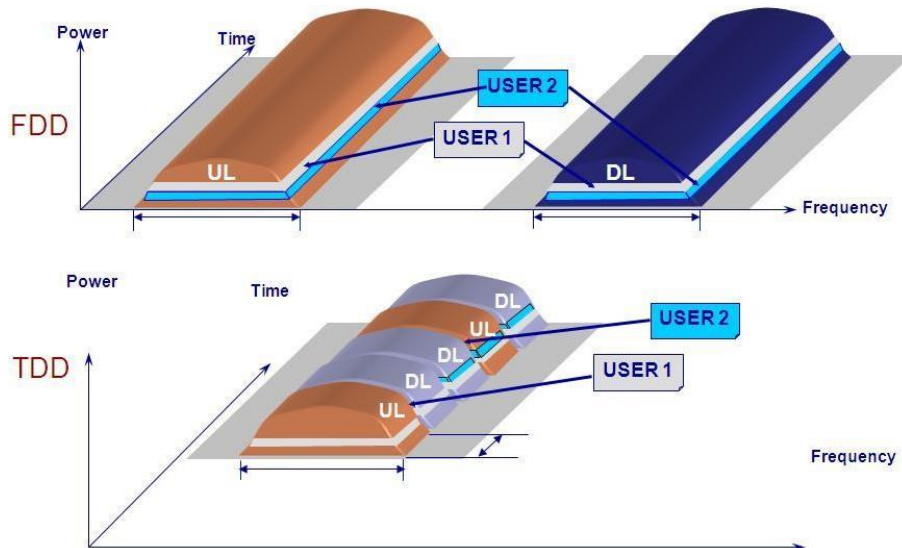
#### **2.2.11.2 Time división dúplex (TDD)**

El modo de transmisión TDD, los datos del usuario son transmitidos siempre en la máxima frecuencia pero están divididos en el tiempo. Esta división en el tiempo se usa para conseguir una transmisión full dúplex, el enlace de subida y el enlace de bajada emiten en la misma frecuencia pero a intervalos de tiempo diferente.

TDD exige un control de los instantes de transmisión de los móviles para que lleguen en la ranura de tiempo que les ha sido asignada.

TDD es más adecuado para tráfico asimétrico como es navegar en Internet. Ofrece una movilidad limitada y por lo tanto es más adaptable en ambientes cerrados. TDD combina la subida y la bajada en una misma banda y multiplexa en el tiempo dicha Tx.

TDD está optimizado para micro y pico células publicas debido a la gran cantidad de tráfico que en ellas se genera este tipo de duplexado permite una transmisión de datos con una velocidad de hasta 2 Mbps.



**Figura 10 Diferencia FDD y TDD**

**Fuente:** <http://telecomseva.com/cdma-principle>

### **2.2.12 Sistema de conmutación punto-multipunto**

Las comunicaciones punto-multipunto ocurren entre un emisor central y dos o más receptores. Los receptores pueden o no tener capacidad propia de emisión. Para muchos fines prácticos conviene a su vez clasificarlas en dos tipos, con los nombres en inglés de broadcast y narrowcast. Dentro de este tipo de sistemas también encontramos LMDS (Local Multi point Distribution Service) y MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service).

### **2.2.13 Broadcast**

En el broadcast se emite una señal que puede ser recibida por cualquiera que cuente con un receptor apropiado. El nombre de broadcast se origina en la radio y la televisión, y es característico de ellas. Es especialmente común

que el broadcast se haga con señales electromagnéticas. Otra forma de broadcast se da en algunas tecnologías de redes locales de computadoras, en las cuales, a través de cables, se envían señales que pueden ser captadas y leídas por todas las computadoras de la red.

#### **2.2.14 Narrowcast**

El narrowcast es análogo al broadcast, pero se basa en señales que por algún medio (físico o lógico) sólo pueden llegar a algunos receptores. Un ejemplo clásico puede ubicarse en la televisión por cable, en la que no se emplean ondas electromagnéticas en la atmósfera o en el espacio como medio de transmisión, sino las que se pueden establecer en un cable.

La evolución de la tecnología televisiva ha permitido codificar las señales que se lanzan "al aire", creando la televisión restringida inalámbrica o "cable inalámbrico". Esta puede emplear distintas tecnologías de transmisión, sea a nivel local por medio de microondas (MMDS), sea vía satélite (DTH o "direct to home")

#### **2.2.15 LMDS (Local multipoint distribution service)**

LMDS (Servicio de distribución local multipunto) es una tecnología de banda amplia inalámbrica punto-multipunto basada en celdas al igual que la telefonía celular con la capacidad de transportar grandes cantidades de información a muy altas velocidades. LMDS opera a frecuencias milimétricas, típicamente en las bandas de 28, 38, o 40 GHz. Esto permite velocidades de datos de hasta 38 Mbps por usuario pero con la restricción de que las distancias de cobertura deben ser menores de 8 Km. La alta capacidad de LMDS hace posible una gama de servicios tales como video digital, voz,

televisión interactiva, música, multimedia y acceso a Internet a altas velocidades. LMDS es una tecnología de costo efectivo, ya que su implantación es rápida en áreas urbanas o en áreas con baja densidad de población, como es el caso de las comunidades rurales.

### **2.2.16 MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service)**

Las redes MMDS (Servicio de Distribución Multicanal Multipunto) se caracterizan por el limitado número de canales disponibles en las bandas asignadas para este servicio, sólo 200 MHz de espectro en la banda de 2.5 GHz a 2.7 GHz. El uso principal de esta tecnología es en televisión restringida inalámbrica. Como el ancho de banda de un canal de televisión es de 6 MHz, solamente 33 canales cabrían en el espectro asignado.

Un sistema de MMDS consiste de una cabecera o centro de control (head end), donde se encuentra el equipo de recepción de las señales origen, un radio transmisor y una antena transmisora. En el lado del usuario se encuentra una antena receptora, un dispositivo de conversión de frecuencia y un receptor decodificador.

El rango de una antena de transmisión MMDS puede alcanzar los 55 kilómetros dependiendo de la altura de la antena y de la potencia de radiodifusión. La potencia de transmisión es usualmente entre 1 y 100 Watts, la cual es sustancialmente menor a los requerimientos de potencia de las estaciones de televisión abierta de VHF y UHF.

Las señales de microondas son pasadas por un convertidor de frecuencias, el cual convierte las frecuencias de microondas a las frecuencias estándar de cable VHF y UHF, y pueda conectarse directamente al televisor.

## **2.2.17 Técnicas de conmutación**

### **2.2.17.1 Conmutación de circuitos**

El sistema de conmutación de circuitos está pensado para llamadas de voz. Al efectuar una llamada se reserva un canal de comunicación entre origen y destino. Una vez reservado, este canal permanecerá ocupado durante todo el tiempo que dure la conversación. En una llamada se ocupa todo el recurso de la conmutación.

Este sistema es claramente ineficaz cuando nos referimos a la transmisión de datos. En Internet, por ejemplo, el tráfico de datos es a "ráfagas", es decir, se concentra en instantes determinados, permaneciendo el canal la mayor parte del tiempo vacío.

### **2.2.17.2 Conmutación de paquetes**

En la conmutación de paquetes el canal de transmisión se requiere sólo cuando existe algo que transmitir o recibir. Esta transmisión se basa en dividir la información en pequeñas unidades llamadas paquetes. Estos paquetes son divididos y enviados de forma secuencial a través de los canales disponibles, permitiendo que varios usuarios compartan los mismos canales.

Todos los paquetes, al llegar a su destino, vuelven a unirse formando el fichero en cuestión. No existe reserva previa de canales como ocurría con la técnica de conmutación de circuitos, con lo cual cuando un canal no

esté transmitiendo datos puede ser utilizado por otro terminal. Esta técnica de conmutación de paquetes es la empleada en las redes de datos fijas como Internet

Una vez que un paquete ha sido transmitido por el interfaz de radio, se vuelven a liberar los recursos de radio para que así puedan ser utilizados por algún otro usuario. Por ejemplo, al acceder a una página WAP, una conexión de paquetes únicamente usaría los recursos cuando se estuviera bajando una página, no cuando se estuviera efectuando la consulta, quedando libre el canal a partir de ese momento.

Las ventajas de la técnica de conmutación de paquetes son:

- 1) Mejora en la eficacia del uso de recursos, teniendo en cuenta las limitaciones del ancho de banda.
- 2) Permite tarifar por volumen de datos intercambiado en lugar de por tiempo de conexión.
- 3) La conexión es permanente.

### **2.2.18 Tercera Generación Móvil 3G**

La Tercera Generación nace con el aumento de usuarios que requieren servicios con alta calidad. Es decir, ya no solo de voz y SMS sino de servicios multimedia con alta tasa de transferencia de datos, los cuales puedan soportar navegación por Internet con las diferentes aplicaciones que este requiera.

El espectro es limitado y, por otro lado, la capacidad de usuarios también, ya que los métodos de acceso múltiple vistos en las generaciones anteriores no satisface la demanda celular.

La Tercera Generación necesitó de estándares móviles que definan normas con respecto a las tecnologías; dichos estándares cuentan con sus respectivas evoluciones que se detallará posteriormente. Los organismos internacionales que actualmente estandarizan estas tecnologías son:

- 3GPP (gsm/gprs/Edge/Edge evolution), (umts/hsdpa), lte
- 3GPP2

La 3GPP dispone de las actualizaciones en los sistemas móviles y estas se efectúan a través de los Release.

**Release 99:** Es la primera versión de UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service). Detrás del estándar UMTS se encuentra la tecnología WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), la cual mejora la capacidad de crecimiento del core y con ello la reducción de costos para servicios de datos y voz.

Este Release incluye CS (Circuit Switched) basado en el estándar de comunicación GSM y PS (Packet Switched) que incluye un core de paquetes para poder acceder a Internet, permitiendo una mejor eficiencia espectral y servicios de datos a través de la introducción de una portadora de 5 MHz UMTS.



**Release 4:** Incluye todos los servicios y funciones del Release 99. Por otro lado, introduce la arquitectura de control independiente donde CS es separado por portadoras y la función de MSC (Mobile Switching Center) es cumplida por MSC SERVER, el cual se encarga de las funciones de control de llamadas y movilidad y WGW (Media Gateway) que ve las funciones de transporte o manipulación de flujos de información.

**Release 5:** Es en este Release donde entra a tallar la tecnología HSDPA, que es una evolución de UMTS en la interfaz de radio. Este Release no altera la estructura lógica de la red de acceso; sin embargo, las funciones de control de paquetes se desplazan al Nodo B para reducir la latencia.

### **2.2.19 Tecnología HSDPA**

La tecnología HSDPA como se desarrolló en el Release 5 soporta tasas teóricas de hasta 14.4 Mbps en bajada y, en subida, se sigue manteniendo con la velocidad de UMTS que es 384 Kbps. Como HSDPA, tiene como objetivo lograr un alta tasa de datos en el enlace descendente BS y UE; para ello utilizará un canal de transporte HS-DSCH que permite, a los usuarios de un mismo sector, compartir todos los recursos.

#### **2.2.19.1 Características de HSDPA**

- **Transmisión por canal compartido y multicódigo**

La potencia de transmisión y los códigos de canal en una celda son compartidos por los usuarios, esto resulta más eficiente que el uso de un canal dedicado. El canal HS-DSCH está mapeado sobre la fuente de código

compartido, el cual puede contener hasta 15 códigos. El número de códigos que se usan depende de cuantos soporte el terminal o el sistema.

- **Modulación de alto orden adaptativa**

Mientras que WCDMA usa modulación QPSK para la trasmisión de bajada, HSDPA usa modulación 16QAM para conseguir una mayor tasa de transferencia de datos.

- **Intervalo de tiempo de transmisión corto (TTI)**

Se reduce la latencia de la red de 10ms, 20ms y 40ms que contaba el UMTS en la bajada de datos a 2ms en HSDPA.

- **Planificación rápida (fast scheduling)**

El objetivo es transmitir a los usuarios con condiciones de radio más favorables; es decir, este se encarga de decidir a qué equipo de usuario debe dirigir por el medio del canal de transmisión compartido. El fast scheduling es controlado desde el Nodo B por el MAC (Control de Acceso al Medio) a través de protocolo MAC-HS.

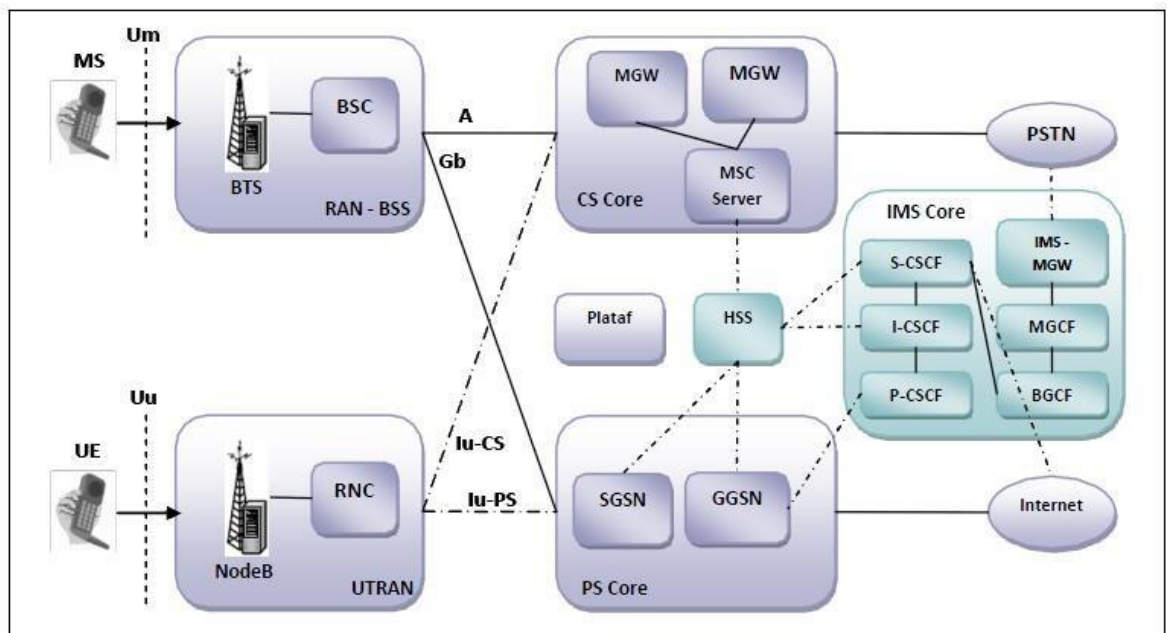
- **Fast Hybrid Automatic Repeat request (ARQ)**

Cuando se pierden los datos transmitidos al equipo de usuario, este puede mandar una petición de retransmisión de datos perdidos y combinar las transmisiones originales con las transmisiones posteriores antes de intentar decodificar el mensaje. En el caso de que los datos se reciban correctamente se envía un ACK y si los datos se reciben incorrectamente se envía un NACK.

En el caso del UMTS las retransmisiones las hacia el RNC pero con HSDPA lo hace el Nodo B.

### 2.2.20 Arquitectura de la Red HSDPA

La arquitectura de la red HSDPA consiste principalmente en tres subsistemas tal como se puede observar en la Figura 11, que muestra los componentes que forman cada uno de los tres subsistemas, el User Equipment (UE), el Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) y el Core Network (CN). A continuación se describe cada uno de los elementos que forman los subsistemas.



**Figura 11 Estructura de una red 3G**

<https://movilfacil.wordpress.com/2011/05/15/ims-r4-o-3g-ip/>

El UE, también conocido como terminal móvil, es el encargado de establecer la comunicación entre el usuario y la estación base. Incluye una Universal Subscriber Identity Module (USIM), la cual contiene la información de identificación del usuario. La red de acceso radio (UTRAN) proporciona la

conexión entre el CN y los terminales móviles. Está formada por los siguientes componentes:

Nodo B: Es el responsable de la transmisión y recepción vía radio desde o hacia el UE. Estima la calidad de cada canal activo de los usuarios en función del feedback recibido en el canal ascendente, y con esta información realiza la adaptación del canal, control de carga y asigna los tiempos y capacidades a cada usuario.

- Radio Network Controller (RNC): Es el encargado de controlar los recursos en su área y de controlar los nodos B que forman parte de él. También se encarga de controlar los parámetros de calidad y es el responsable del handover.

- Radio Network Subsystem (RNS): Está formado por un RNC y sus Nodos B asociados. La UTRAN está compuesta por diversos RNS's, los cuales cubren una cierta área geográfica.

El núcleo de la red (CN), es el encargado de las funciones de transporte (tanto de la información como de señalización) e inteligencia (enrutamiento, lógica y control de los servicios de los usuarios). Está formado por los siguientes elementos:

- Core Switch Media Gateway (CS-MGW): Es el punto de terminación de transporte de redes PSTN y relaciona la UTRAN con el CN.

Gateway MSC (GMSC): Realiza la función de encaminamiento de las llamadas entrantes hasta las ubicaciones del usuario móvil.

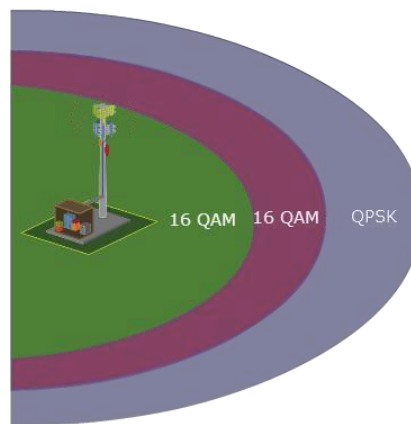
- Mobile Switching Centre Server (MSC Server): Se compone principalmente de las partes de control de llamadas y control de movilidad. Proporciona información a los media Gateway para indicar hacia donde se deben enrutar los paquetes.

- Home Subscriber Server (HSS): Contiene toda la información relativa de los usuarios, como la identificación de los usuarios, numeración, direccionamiento, información para la seguridad del usuario, autenticación e información para la ubicación de un usuario, entre otros. Serving GPRS Support Node (SGSN): Sigue y mantiene la posición de las MS's en su área y realiza funciones de seguridad y control de acceso.

Gateway GPRS Support Node (GGSN): Es el encargado de proporcionar la compatibilidad con redes externas de conmutación de paquetes

### **2.2.21 Adaptive Modulation and Coding (AMC)**

El principio que rige a AMC es el mismo que utiliza EDGE para adaptar sus velocidades de transmisión a las condiciones del canal. De acuerdo a la ubicación del terminal, respecto del Nodo B, será la modulación y la codificación que se utilice.



**Figura 12 Modulación QAM**

Fuente: Propia

En cuanto a modulación, además de QPSK, HSDPA permite el uso de 16QAM, lo que significa pasar de transmitir 2 bits por símbolo a 4 bits por símbolo. Claro que este aumento va de la mano con una menor inmunidad al ruido, por lo que se prefiere 16QAM sólo cuando las condiciones del canal son favorables, es decir, cuando el terminal está estático y cerca del Nodo B. Por otro lado, la utilización de 16QAM hace necesaria una estimación de la amplitud en el receptor, puesto que la naturaleza de la modulación lleva consigo distintos valores en las amplitudes recibidas. Esta es una razón por la cual HSDPA elimina el control rápido de potencia en cada time slot, dejando sólo el control de lazo externo. Es decir, en HSDPA, el control de potencia sólo se lleva a cabo en la base de un frame. De esta forma, usuarios más cercanos al Nodo B tendrán una mejor razón de C/I, pudiendo aumentar no sólo el orden de la modulación sino también la tasa de codificación. La tasa de codificación de canal también es modificada en forma dinámica de acuerdo a las condiciones radioeléctricas, pudiendo variar entre 1/6 y 0.98 (a veces denotada 4/4, prácticamente sin redundancia), sin embargo, las tasas efectivas que

normalmente se usan están entre  $1/4$  y  $3/4$ . El resultado de esta técnica AMC se puede visualizar en Figura 12, donde se ve que para condiciones adversas, típicamente estando alejado del Nodo B y en movimiento, se deberá usar modulación QPSK y una tasa de codificación menor, resultando en menores tasas de transferencia, en tanto que para situaciones favorables, por ejemplo la utilización de un laptop en algún emplazamiento cercano al Nodo B, se obtendrán las mejores tasas de transferencia con modulación 16QAM y baja redundancia en la codificación.

## **2.3 Marco Conceptual**

### **PROPAGACION**

La propagación es el proceso por el cual las señales de radio se emiten de una antena transmisora, viajan por el espacio y son interceptadas por una antena receptora, es la forma básica de funcionar de los radio enlaces.

### **ATENUEACIÓN**

En telecomunicaciones, se denomina atenuación de una señal, sea esta acústica, eléctrica u óptica, a la pérdida de potencia sufrida por la misma al transitar por cualquier medio de transmisión de las cuales por dos factores que atenúan la señal medida que avanza por el aire. La atenuación del aire no es muy importante, ya que el aire es bastante transparente para frecuencias de microondas como las que usamos para Wireless. La atenuación que sí es realmente importante es la dispersión de la señal debido a la forma de transmisión. La intensidad de señal se calcula en intensidad decampo eléctrico por metro cuadrado. Como la señal sale de forma radial desde la antena hacia

todas las direcciones, así si enviamos un vatio de potencia ésta se reparte en la esfera alrededor de la antena, a medida que la señal se va alejando de la antena la esfera crece y la misma potencia se reparte en esta esfera mayor, así la intensidad de la señal por metro cuadrado ha bajado. Para hacernos una idea la intensidad de la señal disminuye a razón del cuadrado de la distancia ( $1/r^2$  donde  $r$  es la distancia a la antena)

## **RADIOENLACE**

Un radio enlace es un conjunto de equipos que transmiten información de un lugar y la reciben en otro. Hay varios "bloques de construcción" clave de un radioenlace.

El transmisor toma la información de entrada y la utiliza para "modular" algunas características de una radio señal, "incorporando", por este medio, la información a la señal, de modo que, en cualquier lugar que se reciba la señal, se pueda extraer la información.

Una antena toma la potencia que le envía un transmisor y produce ondas electromagnéticas que son radiadas al espacio.

Una antena intercepta las ondas electromagnéticas y recibe una pequeña réplica de la señal original al receptor.

El receptor filtra e ignora las señales no útiles y amplifica la señal deseada para que pueda procesarse y, así, recuperar su información.



## **TRANSMISOR**

Genera potencia de RF (Radio frecuencia) en una frecuencia deseada.

Modula la potencia de RF para transportar información

## **ANTENAS**

Convierten la potencia de RF en campos electromagnéticos y viceversa, enfocan la potencia en las direcciones deseadas ("ganancia")

## **RECEPTOR**

Filtra e ignora las señales en las frecuencias no deseadas. Amplifica lo suficiente la señal débil recibida para hacer posible su procesamiento.

Demodula la señal para recuperar la información Los radio enlaces pueden utilizarse en varios modos diferentes.

## **FRECUENCIA DE PROPAGACIÓN**

La frecuencia de una radio señal determina muchas de sus características de propagación. El tamaño de los elementos de antena se encuentran, normalmente, en el orden de  $1/4$  a  $1/2$  de longitud de onda. Los objetos más grandes que una longitud de onda pueden reflejar u obstruir la señal de RF La señal de RF puede penetrar en un contenedor (edificio, vehículo, etc.,) si tiene aberturas cuyo tamaño sea aproximado al de la longitud de onda o más grande.

La longitud de onda es importante porque el tamaño de la onda de radio determina el tamaño de los objetos que pueden reflejarla y cuál es el tamaño

## RELACION ENTRE FRECUENCIA Y LONGITUD DE ONDA

La radio señal sale de una estación base celular y viaja por el aire aproximadamente a la velocidad de la luz  $3 \cdot 10^8$  M/Seg. La frecuencia y la longitud de onda están inversamente relacionadas, la longitud de onda es la distancia de cresta a cresta a una onda.

$$\lambda = c/f$$

$\lambda$  = Longitud de onda

c = Velocidad de la luz.

f = Frecuencia.

## RED DE COMUNICACIONES

La red de celulares es una red de celdas que cada una cuenta con su propio transmisor, conocidas como estación o base. Estas celdas son usadas con el fin de cubrir diferentes áreas para proveer cobertura de radio sobre un área más grande que el de una celda. Una celda es una pequeña parte de la ciudad. Cada celda tiene una estación base que consiste de una torre y un pequeño edificio que contiene el equipo de radio. La tecnología celular requiere un gran número de bases o estaciones en una ciudad de cualquier tamaño.

### **CDMA:** (Code División Multiple Access)

Técnica digital de acceso múltiple por división de códigos, usado en las comunicaciones móviles según el estándar US (IS 95) en el intervalo de frecuencias entre los 800 y los 1.900 MHz

**WCDMA:** (Wideband CDMA).

La llamada telefonía sin cables de tercera generación (también referida con los servicios 3G) alargará significativamente la cantidad de opciones disponibles a los usuarios.

**TDMA:**

Time Division Multiple Access: Acceso Múltiple por División de Tiempo. Es el nombre con el cual se conoce la tecnología digital.

**UTMS:** (Universal Mobile Telephone System):

Abreviatura de "Universal Mobile Telecommunication System". Se denominó la tercera generación de telefonía móvil o 3G. Este sistema supuso un cambio radical y es totalmente distinto a la segunda generación. Respecto a la segunda generación permite las video llamadas y conexiones de datos de hasta 384 miles de bit por segundo (KBit/S). No parece mucho comparado con la tecnología EDGE pero esto fue el principio de la tercera generación y EDGE es el último avance de la segunda generación. Esta tecnología no ha llegado a desplazar a la segunda generación por varias razones. Por un lado son necesarias más antenas que en 2G para dar una cobertura similar. Además, en la comunicación de datos no hay milagros, para transmitir a más velocidad hace falta más potencia y, a más potencia más consumo de batería. Muchas personas desactivan voluntariamente 3G para gastar menos batería. Adicionalmente todavía se venden teléfonos ultra baratos que solo soportan 2G. Por estas razones ningún operador ha dado el paso de desconectar la red 2G. Existen operadores solamente 3G pero tienen acuerdos con otros

operadores para los casos en los que no hay cobertura 3G. Curiosamente estos operadores también aceptan clientes con teléfonos de 2G. Uno de los inconvenientes principales es que una antena de 3G no puede tener teléfonos conectados muy lejos cuando también los tiene muy cerca. La consecuencia es que, cuando has teléfonos conectados muy cerca, la antena baja su potencia dejando sin cobertura los más lejanos. Si hay otra antena cerca no hay problema pero, a veces, no hay ninguna otra antena y el teléfono lejano se queda sin cobertura. Esta característica complica mucho el dar una cobertura adecuada y obliga a que se necesiten muchas más antenas que en 2G. Está estimado que se necesitan 3 antenas de 3G por cada una de 2G.

## **HSPA**

Abreviatura de "High Speed Packet Access". Es una mejora de la tecnología 3G que permite velocidades de la central al teléfono de hasta 14.4 MBit/S, por encima incluso de las velocidades habituales de ADSL, A esta tecnología se la denomina 3.5G. Las variantes son HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) que mejora el sentido de la central al teléfono y HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) que mejora también el sentido del teléfono a la central.

En este último caso la velocidad desde el teléfono alcanza 2 MBit/S. Esta tecnología ha salvado, en cierto modo, a la tercera generación. La velocidad máxima anterior en 3G era de 384 KBit/S lo cual no lo diferenciaba mucho de la tecnología EDGE teniendo en cuenta que la tecnología UMTS es mucho más compleja. La tecnología HSPA evolucionó aún más alcanzando los 88 Mbps de la central al teléfono y 22 Mbps del teléfono a la central. A este avance se le denominó HSPA+ y también 3.75G.

## **CELDA**

Realmente, el elemento que nos da cobertura es la celda. Cada una de las antenas de un emplazamiento cubre un sector circular denominado celda. Además, si en el mismo sector circular tenemos varias tecnologías (2G, 3G, LTE), cada una es una celda distinta aunque coincidan en el espacio. Es el mismo caso si tenemos la misma tecnología en dos bandas distintas serían dos celdas diferentes. Por ejemplo 2G en la banda de 900 MHz y en la banda de 1800 MHz. Serían celdas distintas incluso si tienen la misma antena física. Un teléfono o dispositivo móvil solo están conectados a una celda aunque mantiene información de todas las celdas próximas por si pierde la cobertura y tiene que conectarse a otra.

## **COBERTURA**

En realidad la cobertura que da una celda está más limitada por el teléfono que por la antena de dicha celda. La potencia de una celda puede llegar hoy en día hasta los 100 W y está en un lugar elevado por lo que puede llegar muy lejos. Sin embargo el teléfono emite con 1 o 2 W dependiendo de la banda y suele estar en un bolsillo o en un bolso lo que limita mucho su capacidad de llegar hasta la antena de la celda. Por lo tanto los mayores problemas en la comunicación se producen desde el teléfono a la antena del operador. Por lo tanto cualquier cosa que mejore la comunicación en el teléfono mejora la cobertura. Por ejemplo utilizar un auricular que nos permite hablar y colocar el teléfono separado de nuestro cuerpo y en un sitio fijo. Hay teléfonos que permiten una antena externa que, colocada sobre el techo de un coche, aumenta mucho la capacidad de transmisión de nuestro teléfono. Otro punto a

tener en cuenta es que las bandas de 700 MHz a 900 MHz permiten transmitir a 2 W mientras que el mismo teléfono en otras bandas solo puede transmitir con 1 W de potencia. Por lo tanto se tendrá mejor cobertura en las bandas de 700 MHz a 900 MHz que en otras bandas de frecuencia superior.

## **BANDA**

Se denomina banda al rango de frecuencias asignado, en este caso, para la telefonía móvil. Los gobiernos de cada país asignan en régimen de concesión por un tiempo a varias empresas el uso de esa banda. A cada empresa se le asigna un parte fija de esa banda y nadie más puede utilizarla. Normalmente la banda se identifica con la frecuencia central aunque realmente es un rango de frecuencias. En el caso de la banda de 900 MHz el rango, dependiendo del país, va desde 890 MHz a 915 MHz. Inicialmente el sistema GSM comenzó en la banda de 900 MHz y en la banda de 1900 MHz en Estados Unidos (La banda de 900 MHz estaba ocupada). Posteriormente se utilizó la banda de 1800 MHz para dar más capacidad al sistema GSM. UMTS comenzó en la banda de 2100 MHz y actualmente GSM está dejando libre parte de la banda de 900 MHz en beneficio de UMTS. Esto está mejorando en gran medida la cobertura de UMTS ya que, como hemos indicado en el punto anterior, la banda de 900 MHz es la que mejor cobertura da. También ahora llega LTE y necesita también su espacio. LTE está utilizando la nueva banda de 800 MHz (que deja libre la banda de televisión), la de 1800 MHz (menos espacio para GSM y la banda de 2600 MHz (Ocupada hasta ahora por otras tecnologías como WIMAX o punto a multipunto). Una banda peculiar bastante utilizada en América es la banda AWS (Advanced Wireless Service). Utiliza la banda de

1700 MHz para la comunicación del teléfono a la antena y la banda de 2100 MHz para la comunicación de la antena al teléfono.

Por regla general cualquier tecnología funciona en cualquier banda y son los gobiernos de los países los que realizan esta asignación. Los operadores procuran emitir en la frecuencia más baja posible ya que la cobertura es mayor y eso le permite poner menos antenas. Pero esto no siempre es posible ya que la banda puede estar ocupada por otras tecnologías más antiguas o directamente no ha podido comprar la licencia necesaria. Esto se está notando sobre todo en la tecnología LTE que es la última que ha llegado y está ocupando los huecos que quedan libres. Según los países hay una gran disparidad de bandas utilizadas. Debemos comprobar tanto la tecnología como la banda en la que se emite a la hora de comprar un teléfono o cuando viajamos ya que los teléfonos solo soportan cada tecnología en unas bandas concretas.

## **FEMTOCELDA**

La Femtocelda es un dispositivo similar a nuestro router wifi pero que emite en la banda de 3G. La cobertura es pequeña y su objetivo es simplemente dar una buena cobertura de 3G en el hogar donde está instalada. La idea surgió cuando la cobertura 3G no era muy buena y se pensó para operadores que daban tanto el servicio de telefonía móvil como de ADSL o cable. Se crearon routers para ADSL o cable que emitían también en la banda de 3G dando cobertura al domicilio. Este equipo no llegó a tener ningún éxito debido a que no se encontró un modelo de negocio adecuado. Preguntas como ¿A quién se da cobertura? ¿Solo al dueño del router? ¿También a los vecinos? ¿Cómo se

gestiona este control? Al ser el router más caro ¿Quién pagaría la diferencia? El resultado final es que la cobertura fue mejorando y esta solución ha quedado descartada.

## **SMALL CELLS**

Literalmente celdas pequeñas. Es una solución derivada del concepto de las femtoceldas. La diferencia está en que estas celdas están pensadas para oficinas, negocios, aeropuertos, etc. La cobertura que dan es pequeña y su objetivo es dar cobertura a zonas donde difícilmente llega la cobertura tradicional. Están pensadas para 3G y 4G y sería el operador el encargado de su despliegue, por supuesto, con el consentimiento del propietario del edificio. Una utilidad muy interesante es la de dar cobertura a zonas con muchas afluencia de personas. Estos equipos son pequeños y se pueden instalar, por ejemplo, en las farolas de la calle por lo que son muy fácil de desplegar. Hay que tener en cuenta que el mayor gasto de una antena es el pago que se debe realizar al propietario del edificio donde va instalada. En el caso de una smallcell la instalación es muy sencilla y se puede instalar en el mismo mobiliario urbano o en sitios donde el propietario no suele cobrar por permitir la instalación.

## **RED DE BACKHAUL**

El término "backhaul" se puede traducir por "soporte al transporte". En los comienzos de la telefonía móvil el enlace básico utilizado para comunicar los distintos elementos de una red eran los enlaces E1 que consistía en un enlace de 2 Mbits/S dividido en 32 canales de 64 Kbit/S. Con la llegada de GPRS



comienzan a utilizarse enlaces TCP/IP similares a Internet: Los enlaces clásicos E1 seguían utilizándose para las conexiones de voz y estas redes TCP/IP se utilizaban para las conexiones de datos. Esto fue el comienzo de las redes de "backhaul". Son redes TCP/IP similares a Internet pero que su única función es comunicar los distintos elementos de la red móvil. Hoy en día se utiliza la tecnología VoIP para la voz y todas las conexiones (voz y datos) son TCP/IP. Todos los elementos de la red móvil tienen una dirección IP y se comunican entre ellos a través de la red de backhaul o backhaul network.

### **MODULACION DE AMPLITUD EN CUADRATURA (QAM)**

La Modulación de amplitud en cuadratura (conocida también como QAM por las siglas en inglés de Quadrature amplitude modulation) es una técnica que transporta datos, mediante la modulación de la señal portadora, tanto en amplitud como en fase. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasada en  $90^\circ$ . La señal modulada en QAM está compuesta por la suma lineal de dos señales previamente moduladas en Doble Banda Lateral con Portadora Suprimida.

## **Capítulo III: Diseño de la Red de Comunicación Móvil**

### **3.1 Análisis del Modelo y Herramienta**

El método de cálculo es el procedimiento que se va a emplear para estimar la propagación de las ondas electromagnéticas por el espacio. Se debe decidir qué modelo de simulación se desea emplear en cada caso en función del entorno en el cual se realiza el despliegue de red, la tecnología empleada, las bandas de frecuencias de trabajo y la calidad de la información cartográfica disponible para modelar el terreno. En el presente trabajo, teniendo en cuenta que los modelos para el cálculo de la pérdida por propagación utilizados por los operadores actuales son el Modelo Okumura-Hata y el Modelo Cost 231 se utilizó el modelo Okumura-Hata el cual es más que suficiente puesto que la ciudad de Iquitos solo cuenta con muy pocos edificios los cuales incrementan la pérdida por propagación.

### 3.1.1 Xirio Online

Para el diseño de cobertura radio eléctrica nos apoyaremos con el simulador online Xirio. Xirio Online es la manera más rápida y económica de realizar simulaciones profesionales de cobertura radioeléctrica en cualquier parte del mundo. Te permite calcular, compartir y publicar resultados en la red sin necesidad de disponer de herramientas de planificación ni cartografía digital propias.



**Figura 13 Xirio Online**

Antes de empezar a trabajar es necesario conocer la distribución del entorno de trabajo de Xirio Online. A continuación se describe brevemente el interfaz de usuario:



**Figura 14 Xirio Online Pantalla Principal**

- **Visor.** Elemento principal de la ventana del navegador. Sobre él se representan los distintos elementos de los estudios (transmisores, receptores, puntos de interés, etc.), así como las manchas de cobertura radioeléctrica.

Podrá situar transmisores y receptores pinchando directamente sobre el visor, definir áreas de cálculo en los estudios de cobertura y multitransmisor, o desplazar elementos mediante su selección.

- **Barra de Herramientas.** Se encuentra en la parte superior de la ventana de Xirio Online. En ella se encuentra la funcionalidad relacionada con la gestión de estudios, resultados, usuarios de visualización, plantillas, etc.


A través de ella también se accede a funcionalidades cartográficas básicas, como son el trazado de perfiles orográficos, cálculo de distancias y azimuts o la consulta de la cota altimétrica en un punto.

- **Panel de Leyenda.** En ella se muestran todos los elementos que se han abierto durante la sesión actual, ordenados en una estructura de árbol.


Este árbol está formado por estudios, resultados, puntos de interés, transmisores, receptores, métodos de cálculo, etc.

- **Panel de Acciones.** En ella se muestran las acciones que se pueden realizar, asociadas al elemento (transmisor, estudio, resultado, etc.) que se encuentre seleccionado en ese momento en la ventana de leyenda.

- **Panel de Información.** Se trata de una ventana emergente que ofrece información del elemento seleccionado en la ventana de leyenda.

Puede cerrar esta ventana y hacer que vuelva a aparecer pinchando sobre  en la barra de herramientas.

- **Panel de Tareas.** Muestra la información del estado y el progreso de los cálculos lanzados y que aún siguen ejecutándose. Esta ventana aparece cuando se lanza un cálculo.

Puede cerrar esta ventana y hacer que vuelva a aparecer pinchando sobre  en la barra de herramientas.

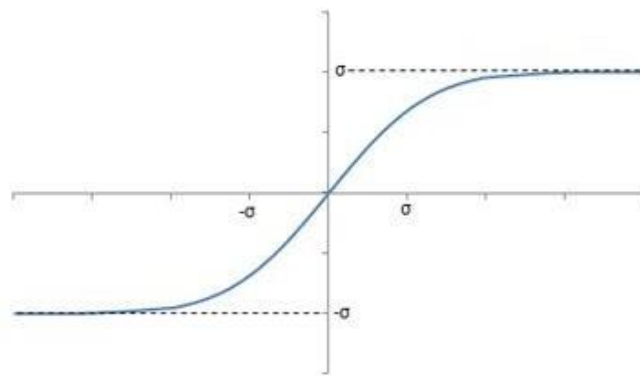
- **Buscar Dirección.** Permite realizar búsquedas geográficas de direcciones o términos ubicando el resultado de las mismas sobre el visor. Para ello utiliza el motor de búsqueda que implementa el conocido visor Google Maps.

### 3.1.2 Método Okumura-Hata modulado

Este modelo se basa en el método de Okumura-Hata para la predicción del valor de señal en un punto, por lo que presenta las mismas aplicaciones y las mismas restricciones. Se trata por tanto de un modelo híbrido especialmente útil para analizar la propagación de servicios móviles.

El método original es bastante impreciso ya que no tiene en cuenta los efectos de los elementos determinísticos (terreno, edificios, ancho de calles, etc.). Para ello se introduce una corrección en función del terreno, utilizando las pérdidas de difracción calculadas mediante la Recomendación UIT-R P.526 como referencia.

Se considera que el valor medio del error ofrecido por Okumura-Hata es 0. El objetivo será modificar este valor en un entorno de  $\pm\sigma$  en función del error cometido con las pérdidas de difracción. Para ello se utiliza la función de distribución normal, con una desviación típica  $\sigma$ , convirtiendo valores de error entre  $-\infty$  y  $+\infty$  en valores comprendidos entre  $-\sigma$  y  $+\sigma$ .



**Figura 15 Margen de desviación Modelo Okumura Hata**

El modelo de Okumura-Hata está restringido a los siguientes límites:

- f: 150 a 1500 MHz
- hb: 30 a 200 m
- hm: 1 a 10 m
- d: 1 a 20 km

El modelo de Okumura-Hata expresa la pérdida básica de propagación,  $L_b$ , de la siguiente manera:

$$L_b = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d$$

Dónde:

f: frecuencia (Mhz),  $150 < f < 1500$  Mhz.

hb: altura efectiva de la antena de la estación base (m),  $30 < h_b < 200$  m

hm: altura sobre el suelo de la antena de la estación móvil (m), con  $1 < h_m < 10$

dm: distancia en km,  $1 < d < 20$  Km.

$a(h_m)$ : es un factor de corrección que depende de la altura del móvil y que se calcula como sigue:

1) para áreas urbanas:

a) para ciudades pequeñas o medianas:

$$a(h_m) = (1.1 \log h_m - 0.7) h_m - (1.56 \log h_m - 0.8)$$

donde  $1 \leq h_m \leq 10$  m

b) para ciudades grandes:

$$K(h) = \begin{cases} 8.29(\log 1.54h)^2 - 1.1 & h \leq 200 \\ 3.2(\log 11.75h)^2 - 4.97 & h \geq 400 \end{cases}$$

2) para áreas suburbanas:

$$K = K_{(urban)} - 2 \left[ \log \left( \frac{h}{28} \right) \right]^2 - 5.4$$

3) para áreas rurales:

$$K = K_{(urban)} - 4.78 \log(h)^2 + 18.33 \log h - 40.94$$

### 3.1.3 Método Cost 231

El modelo COST 231 es un modelo semi-empírico de predicción de las pérdidas en un trayecto, resultado de la combinación de los modelos Walfisch-Bertoni e Ikegami. Es recomendado para macro-células en escenarios urbanos y suburbanos, con buenos resultados de las pérdidas en el trayecto para antenas transmisoras situadas por encima de la altura media de los tejados. Sin embargo, el error en las predicciones aumenta considerablemente a medida que la altura del transmisor se acerca a la altura de los tejados, llegando a tener un rendimiento muy pobre para transmisores situados por debajo de ese nivel.

Respecto a modelos precedentes como Okumura-Hata, el modelo COST 231 incluye una serie de parámetros adicionales al proceso de cálculo, además de ampliar el rango de frecuencias en el cual puede usarse (800 - 2000 MHz). El modelo realiza un cálculo más detallado de la atenuación, basándose en cuatro parámetros adicionales:



- altura de los edificios
- ancho de las calles
- separación entre edificios
- orientación de la calle respecto a la dirección de propagación.

La pérdida básica de propagación,  $L_b$ , es calculada como la suma de tres componentes: la pérdida de propagación en condiciones de espacio libre,  $L_0$ ; la pérdida por difracción del tejado a la calle,  $L_{rts}$ , producida en el interior de la calle en la que se encuentra el receptor, como resultado de la difracción en el tejado adyacente a éste; y la pérdida por difracción multipantalla  $L_{msd}$ , producida por múltiples difracciones en los tejados de los edificios situados a lo largo del trayecto. El modelo distingue además casos LOS y NLOS

En general, las restricciones para el modelo son las siguientes:

- $f = 800 - 2000$  MHz
- $h_b = 4 - 50$  m (altura de transmisor)
- $h_m = 1 - 3$  m (altura de receptor)
- $d = 0.02 - 50$  km (distancia entre transmisor y receptor)
- $\Delta h_b > 0$  m (altura relativa del transmisor respecto a los edificios)

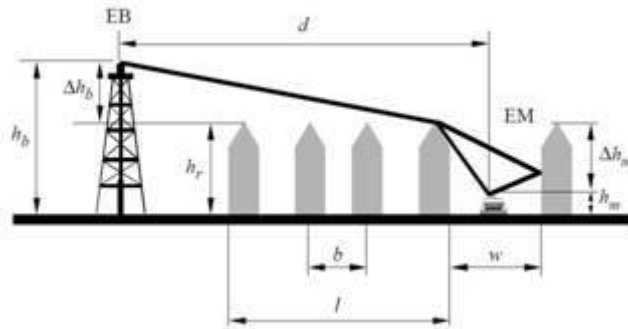
Desarrollo

- a) Para escenarios LOS, la pérdida de propagación considera únicamente la pérdida en espacio libre,  $L_b = L_0(\text{LOS})$ , donde:

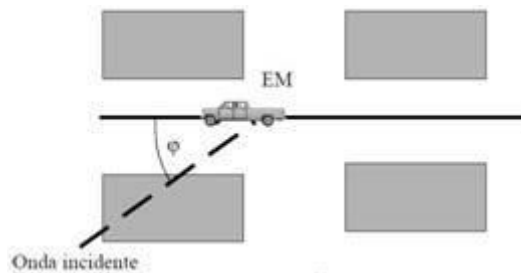
$$L_b(\text{LOS}) = 42.6 + 26 \log(d) + 20 \log(f)$$

donde  $d$  es expresada en km y  $f$  en MHz.

b) El trayecto NLOS típico descrito en el modelo COST 231, se representa en la Figura 16 Y Figura 17



**Figura 16 Escenario Típico de propagación NLOS (Perfil)**



**Figura 17 Escenario Típico de propagación NLOS (Superior)**

Los parámetros definidos en el modelo COST 231 son los siguientes:

- $h_r$  : altura media de los edificios (m)
- $w$  : anchura de la calle (m)
- $b$  : separación media entre edificios (m)
- $\varphi$  : ángulo formado por la dirección de propagación y el eje la calle (grados)
- $h_b$  : altura de la antena de la estación base (m)
- $h_m$  : altura de la antena del dispositivo móvil (m)
- $\Delta h_m = h_r - h_m$  (m)
- $\Delta h_b = h_b - h_r$  (m)

- l : distancia total entre el primer y el último edificio del trayecto (m)
- d : distancia entre estación base y dispositivo móvil (km)
- f : frecuencia (MHz)

La pérdida básica de propagación para el escenario NLOS viene dada por:

$$L_{p0} = \begin{cases} L_{p0} + L_{p0} + L_{p0} & \text{si } L_{p0} + L_{p0} + L_{p0} > 0 \\ L_{p0} & \text{si } L_{p0} + L_{p0} + L_{p0} \leq 0 \end{cases}$$

La pérdida de propagación en condiciones de espacio libre, L0, se obtiene según la expresión:

$$L_{p0} = 32.4 + 20 \log f + 20 \log d$$

El término Lrts tiene en cuenta la anchura de la calle y su orientación con respecto a la dirección de propagación del rayo. Su definición está basada en los principios de difracción tejado-calle dados por el modelo de Ikegami. La expresión para el cálculo de Lrts, es aceptada por la UIT-R en su Recomendación P.1411 [5], y viene dada por:

$$L_{p0} = -8.2 - 10 \log f + 10 \log d + 20 \log \Delta h + L_{p0}$$

dónde:

$$L_{p0} = \begin{cases} -10 + 0.354 \alpha & \text{si } 0^\circ \leq \alpha < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\alpha - 35) & \text{si } 35^\circ \leq \alpha < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\alpha - 55) & \text{si } 55^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ \end{cases}$$

El término Lori es un factor de corrección que cuantifica las pérdidas debido a la orientación de la calle. En caso de que el valor de Lrts < 0, se debe considerar Lrts = 0.

La pérdida por difracción multipantalla,  $L_{msd}$ , es función de la frecuencia, la distancia entre el dispositivo móvil y la estación base, además de la altura de ésta y la de los edificios. Al igual que  $L_{rts}$ , en caso de que  $L_{msd}$  sea negativo, se considera  $L_{msd} = 0$ . Su valor se calcula mediante la expresión:

$$L_{msd} = L_{msd}h + L_{msd} + L_{msd} \log f + L_{msd} \log d - 9 \log h$$

dónde:

$$L_{msd}h = \begin{cases} -18 \log(1 + \Delta h) & h > h_b \\ 0 & h \leq h_b \end{cases}$$

es un término que depende de la altura de la estación base. Además se definen los siguientes parámetros:

$$L_{msd} = \begin{cases} 54 & h_b > h \\ 54 - 0.8 \Delta h & h_b \leq h \text{ y } \Delta h \geq 0.5 h_b \\ 54 - 0.8 \Delta h & h_b \leq h \text{ y } \Delta h < 0.5 h_b \end{cases}$$

El término  $k_a$  presenta el incremento de la pérdida en el trayecto para el caso de estaciones bases ubicadas por debajo de la altura media de los edificios. Los términos  $k_d$  y  $k_f$  controlan la dependencia de  $L_{msd}$  respecto a la distancia y a la frecuencia, respectivamente. En el caso de que no existieran datos sobre los edificios en el trayecto, el modelo COST 231 recomienda emplear:

$$- h_r = 3 \text{ m} \times (\text{N}^\circ \text{ de pisos}) + \text{altura del techo}$$

$$L_{msd} = \begin{cases} 3 & h_b > h \\ 0 & h_b \leq h \end{cases}$$

-  $b = 20 - 50 \text{ m}$

-  $w = b / 2$

-  $\varphi = 90^\circ$

### 3.2 Diseño y simulación de la Red de Comunicación

#### 3.2.1 Diseño de la cobertura de un Sistema Celular

El primer paso al realizar un diseño de una red de comunicación móvil es calcular el número de nodos B que se utilizará, para ello se realiza lo que se llama dimensionamiento. El dimensionamiento de una red de telefonía móvil es el proceso mediante el cual se estiman el número de elementos de red necesarios y las posibles configuraciones de los mismos, basándose en los requerimientos de cobertura, capacidad y calidad de servicio.

#### 3.2.2 Descripción del área a cubrir

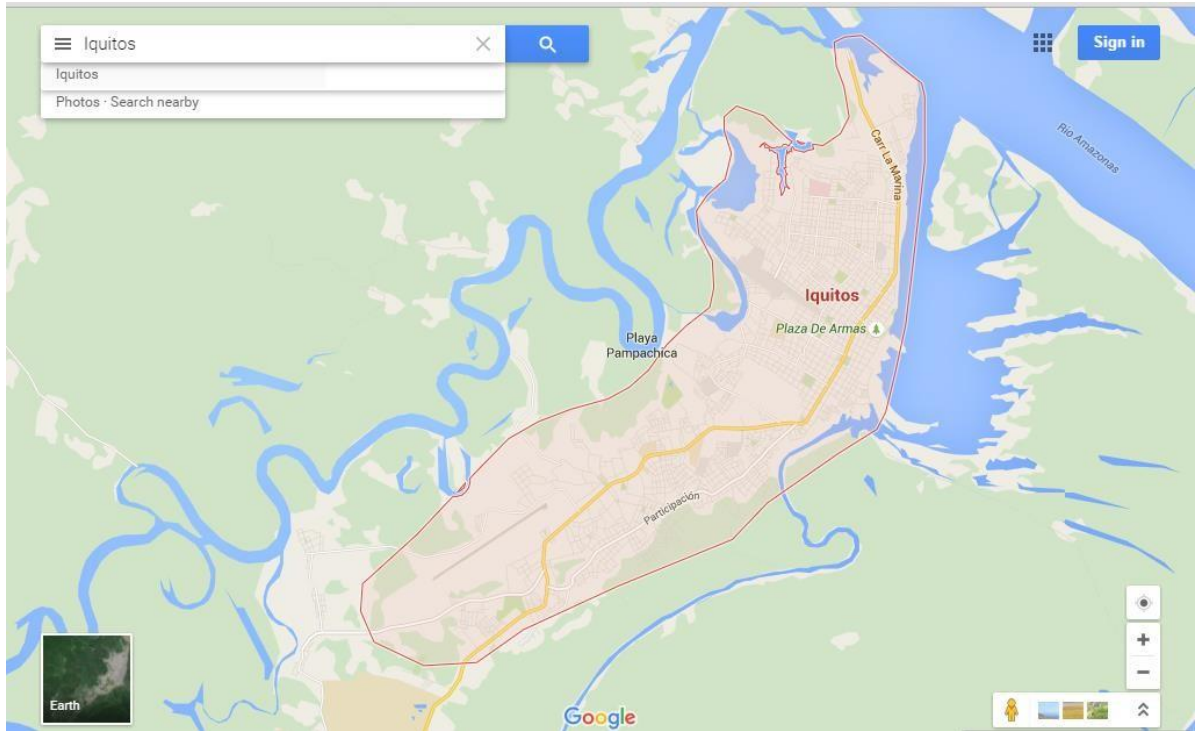
El distrito de Iquitos cuenta con un área de 358 15 km<sup>2</sup>, dato importante para el cálculo de la cobertura óptima para la zona

Debido a que el diseño el cual se realiza es para el distrito de Iquitos, se debe obtener información geográfica de la zona para poder determinar el área a la cual se brindara el servicio celular 3G, y así determinar el nivel de cobertura óptima para la zona.

Dentro de la información necesaria debemos tener en cuenta lo siguiente:

CIUDAD	POBLACIÓN	EXTENSIÓN	DENSIDAD
IQUITOS	432.476hab. (2 014)	358 15 Km <sup>2</sup>	444 hab/km <sup>2</sup>

**Tabla 1 Iquitos Datos Demográficos**



**Figura 18 Ciudad de Iquitos**

Fuente: Google Maps

### 3.2.3 Número de celdas por cobertura

Para poder determinar el número de celdas que se requiere dividir el área total de servicio y el área de cobertura de una celda. Para el valor del radio de cobertura de una celda tomaremos como referencia el de 3.6 Km

Tomando estos datos

$$N_{\text{celdas}} = \frac{A_{\text{total}}}{A_{\text{celda}}}$$

La superficie de la celda se obtiene mediante la siguiente formula:

$$A_{\text{celda}} = 3 * \left[ \frac{3 * \sqrt{3}}{2} R^2 \right]$$

$$A_{\text{celda}} = 3 * [23.38 R^2]$$

$$A_{\text{celda}} = 70.14 \text{ m}^2$$

Por lo tanto el número de Celdas para la cobertura ( $N_{\text{Cob}}$ ) es igual a:

$$N_{\text{Cob}} = \frac{35815 \text{ m}^2}{70.14 \text{ m}^2}$$

$$N_{\text{Cob}} = 5.10$$

Por lo tanto necesitaremos aproximadamente 5 estaciones base

### 3.2.4 Número de celdas por capacidad

Para obtener el número de celdas que se requiere por medio de la capacidad de cada una de las celdas hay que tomar en consideración los parámetros establecidos de los equipos que se utilizará, estos valores pueden estar dados ya sea en canales de tráfico o en Erlangs. Estos datos vienen dados por la entidad supervisora de las telecomunicaciones o por la misma compañía que ofrece el servicio.

El tráfico por cada celda viene especificado por el fabricante según nuestro caso el tráfico por celda es de 20 Erlangs

### 3.2.5 Intensidad de tráfico

$$I = \frac{M \times H}{3600}$$

Siendo:

A: Intensidad de tráfico

M: Cantidad de llamadas

H: Tiempo promedio de la llamada

Asumiremos que en BH (Busy Hour) es decir que en el momento de mayor concentración de llamadas el número de usuarios es de 5500 y la duración de la llamada promedio es de 3 minutos.

Remplazando en la fórmula:

$$A = \frac{5500 \times 3 \times 60}{3600}$$

$$A = 275 \text{ Erlang}$$

La densidad de tráfico total se calcula teniendo en cuenta que el distrito de Iquitos tiene una superficie a cubrir de 358.15 Km<sup>2</sup>.

$$D = \frac{A}{S}$$

$$D = \frac{275}{358.15 \text{ Km}^2}$$

$$D = 0.768 \text{ Erl/Km}^2$$

$$D_{\text{total}} = \frac{D \times A}{A}$$

$$D_{\text{total}} = \frac{275 \times 0.768}{300}$$

$$D_{\text{total}} = 4.5$$



## NUMERO DE CELDAS TOTALES

$$N_{cob} = 5.10$$

$$N_{cap} = 4$$

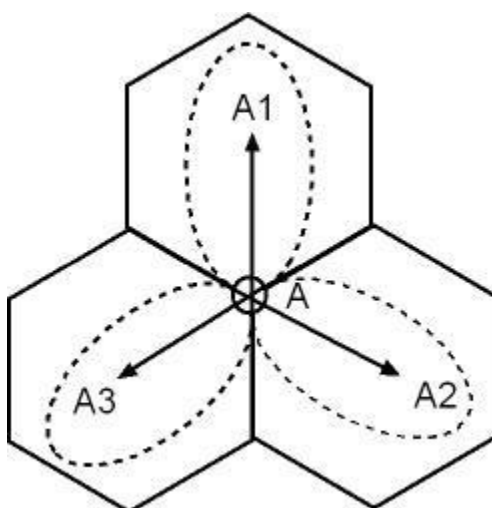
$$N_{total} = 5$$

## TRÁFICO Y DIMENSIONAMIENTO

Para poder dar una eficiente cobertura es necesario saber dónde se encuentra concentrada la mayor cantidad de población y por lo tanto clientes que requieran el uso de la telefonía móvil a diferencia de los lugares donde hay escasa población. Debido a que en el distrito de Iquitos que cuenta con una densidad de 444 hab/km<sup>2</sup> y la población está distribuida de forma uniforme.

## TIPOS DE CELDAS

Se utilizará celdas de tipo sectoriales, la cual se adecua a la región.



**Figura 19 Celdas Sectoriales**

## DISEÑO EN ENTORNOS URBANOS PEQUEÑOS

Las condiciones de cobertura que requiere un medio urbano pequeño en el cual no hay muchas edificaciones elevadas que dificulten el paso de la señal. Y produzca pérdida por penetración.

En la actualidad el Perú cuenta con las bandas de frecuencias de 850, 900 y 1900 que se encuentran otorgadas a las empresas operadoras de telefonía móvil. En la última licitación de espectro en 1700-2100 MHz (AWS, advanced wireless services), Movistar y Americatel (Entel Chile) se quedaron con los bloques en pugna.

La distribución de las diferentes bandas se aprecia en los siguientes cuadros:

Banda 1900:

Banda	Rango de Frecuencias (MHz)		Empresa	Área de Asignación
	Ida	Retorno		
A	1 850 -1 865	1 930 -1 945	América Móvil Perú S.A.C.	A Nivel Nacional
D	1 865 - 1 870	1 945 -1 950	Nextel del Perú S.A.	A Nivel Nacional
B	1 870 - 1 882,5	1 950 -1 962,5	Telefónica Móviles S.A.	A Nivel Nacional
E	1 882,5 - 1 895	1 962,5 -1 975	Nextel del Perú S.A.	A Nivel Nacional
F	1 895 - 1897,5	1 975 -1 977,5	América Móvil Perú S.A.C.	A Nivel Nacional
C	1897,5 - 1 910	1 977,5 -1 990	Viettel Perú S.A.C.	A Nivel Nacional

**Tabla 2 Banda 1900 Mhz**

Banda 850

Banda	Rango de Frecuencias (MHz)		Empresa	Área de Asignación
	Ida	Retorno		
A	824 - 835	869 - 880	Telefónica Móviles S.A.	A Nivel Nacional
	845 - 846,5	890 - 891,5		
B	835 - 845	880 - 890	América Móvil Perú S.A.C.	A Nivel Nacional
	846,5 - 849	891,5 - 894		

**Tabla 3 Banda 850 Mhz**

Banda 900

Banda	Rango de Frecuencias (MHz)		Empresa	Área de Asignación
	Ida	Retorno		
A	Ancho de banda 16 Mhz		Viettel Perú S.A.C.	Lima y Callao
	899 - 915	944 - 960		
B	Ancho de banda 13 Mhz		Viettel Perú S.A.C.	Provincia
	902 - 915	947 - 960		

**Tabla 4 Banda 900 Mhz**

Banda 1700

Banda	Rango de Frecuencias (MHz)		Empresa	Área de Asignación
	Ida	Retorno		
A			Telefónica Móviles S.A.	A Nivel Nacional
	1710 - 1730	2110 - 2130		
B			Americatel Perú S.A.	A Nivel Nacional
	1730 - 1750	2130 - 2150		

**Tabla 5 Banda 1700 Mhz**

## Banda 700 Mhz

Banda	Rango de Frecuencias (MHz)		Empresa	Área de Asignación
	Ida	Retorno		
A	703 - 718	758 - 733	-	-
B	718 - 733	773 - 788	-	-
C	733 – 748	788 - 803	-	-

**Tabla 6 Banda 700 Mhz**

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones ha anunciado la licitación de la banda 700Mhz. Esta licitación se dará en el primer trimestre del año 2016. Puesto que esta banda es destinada para tecnología 4G. En el presente trabajo se utilizó la banda de 900 MHz con el rango de 902 – 915 MHz para el enlace de subida y 947 – 960 MHz. para el enlace de bajada. En el siguiente cuadro se aprecia las frecuencias que se utilizará tanto para el Uplink y el Downlink

Uplink	908.5
Downlink	953.5

**Tabla 7 Frecuencias Uplink-Downlink**

## Ubicación de los Nodos B

Según nuestro cálculo realizado anteriormente se utilizará 15 antenas directivas distribuidas en grupos de 3, por lo tanto ubicaremos 5 estaciones base a lo largo de la ciudad de Iquitos. La ubicación exacta de cada estación se aprecia en la Tabla 8

Nodo B	Latitud	Longitud
Abtao	03°45'36.31"S	073°14'55.16"W
Aeropuerto	03°46'38.42"S	073°18'44.91"W
Ejercito	03°44'28.12"S	073°15'58.50"W
Los_Angeles	03°46'22.00"S	073°17'02.87"W
Navarro	03°43'58.67"S	073°15'28.90"W

**Tabla 8 Ubicación de Nodos B**

La distribución de cada sector, azimut, tilt y distancia que cubre cada sector se aprecia en la siguiente tabla.

Nodo B	Sector	Azimut	Tilt	Cobertura (Km)
Aeropuerto	Sector 1	70	3	3.4
Aeropuerto	Sector 2	150	3	2.8
Aeropuerto	Sector 3	200	3	3.8
Abtao	Sector 1	130	4	1.5
Abtao	Sector 2	230	3	2.6
Abtao	Sector 3	300	3	1.7
Ejercito	Sector 1	45	5	1.2
Ejercito	Sector 2	120	4	2.9
Ejercito	Sector 3	200	4	2.7
Los_Angeles	Sector 1	20	5	1
Los_Angeles	Sector 2	130	3	3.6
Los_Angeles	Sector 3	200	2	2.7
Navarro	Sector 1	40	3	3.5
Navarro	Sector 2	150	3	2.4
Navarro	Sector 3	255	3	2

**Tabla 9 Nodos B y sectores**

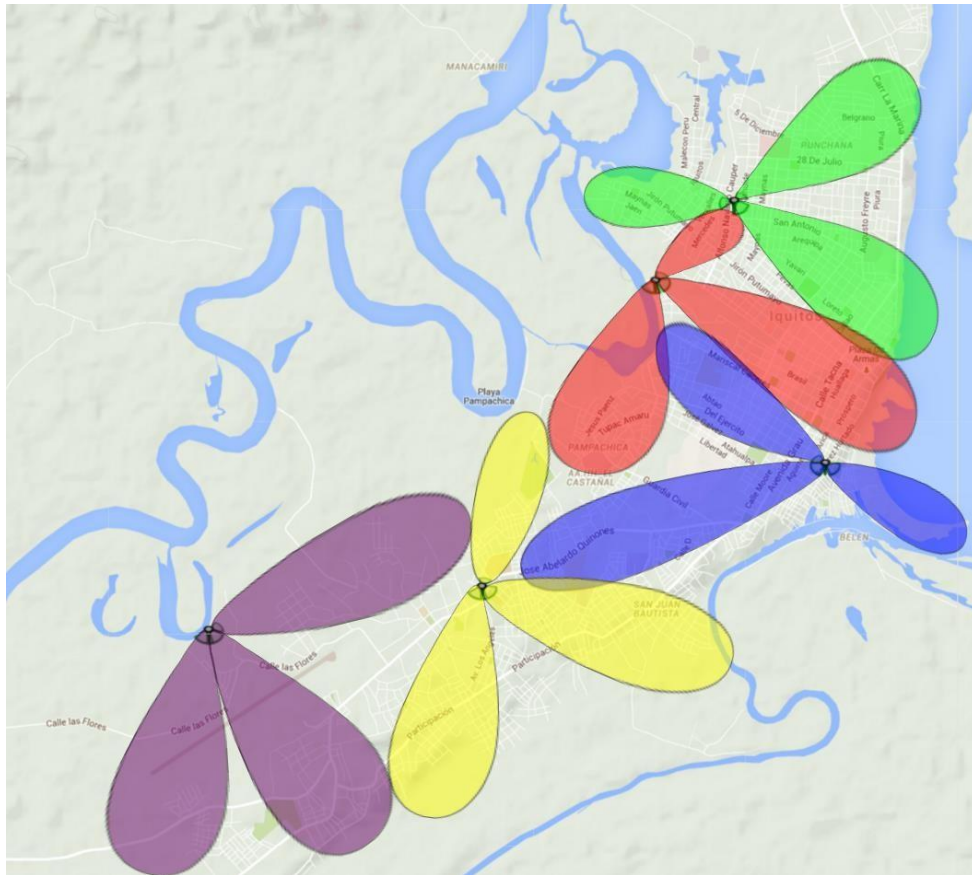


Figura 20 Ubicación de las estaciones y su cobertura

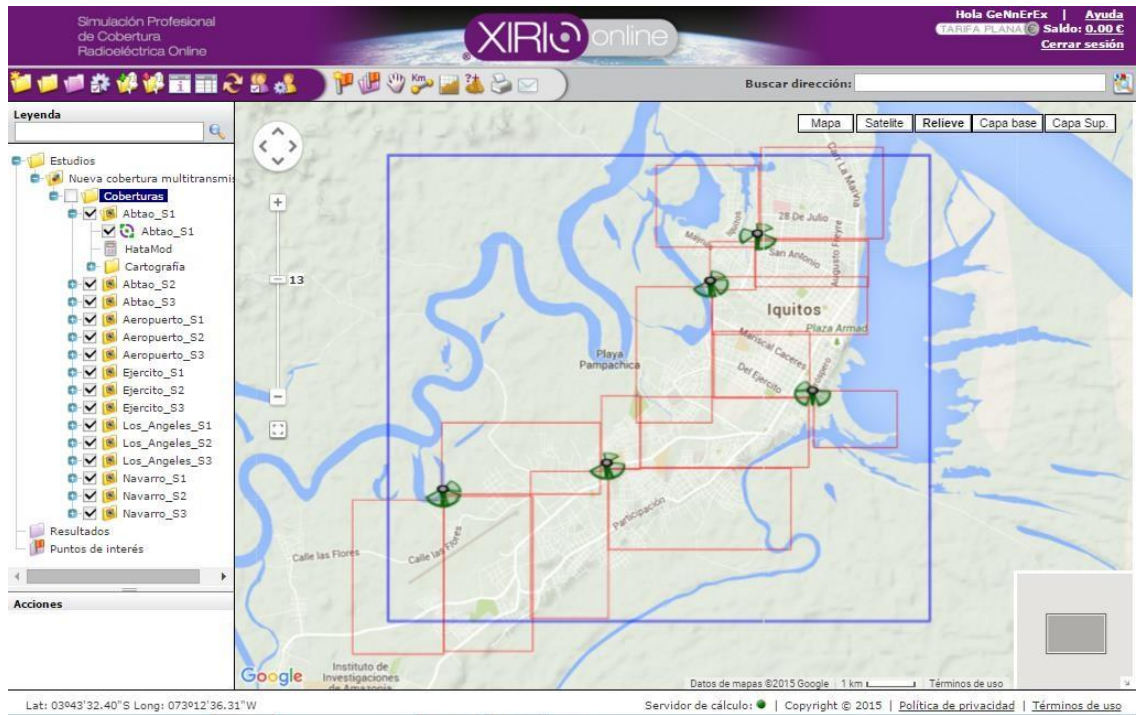


Figura 21 Cobertura de los sectores

	<b>Abtao</b>	<b>Aeropuerto</b>	<b>Navarro</b>	<b>Ejercito</b>	<b>Los_Angeles</b>
<b>f uplink (MHz)</b>	908.5	908.5	908.5	908.5	908.5
<b>f downlink (MHz)</b>	953.5	953.5	953.5	953.5	953.5
<b>d (Km)</b>	2.6	2.9	2.4	2.9	3.6
<b>hm (m)</b>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
<b>hb (m)</b>	30	40	30	30	30

**Tabla 10 Datos para el cálculo**

Con las formulas del modelo Okumura-Hata, se realizarán los cálculos para cada Nodo B y con los resultados obtenidos se podrá determinar la pérdida de propagación de cada uno. Se tomará en cuenta la antena que cubrirá mayor distancia por ende será la que tenga mayor pérdida de propagación.

	<b>Aeropuerto</b>	<b>Abtao</b>	<b>Ejercito</b>	<b>Los_Angeles</b>	<b>Navarro</b>
□ □	143.02	137.45	139.05	142.23	141.81

**Tabla 11 Uplink (Pérdida de Propagación)**

	<b>Aeropuerto</b>	<b>Abtao</b>	<b>Ejercito</b>	<b>Los_Angeles</b>	<b>Navarro</b>
□ □	143.57	138.00	139.60	142.77	142.36

**Tabla 12 Downlink (Pérdida de Propagación)**

<b>Transmitter - UE</b>		
<b>Potencia del Tx</b>	27	dBm
<b>Ganancia de la Antena</b>	0	dBi
<b>Perdida por cuerpo</b>	3	dB
<b>PIRE</b>	24	dBm
<b>Receiver - Node B</b>		
<b>Sensibilidad</b>	-128.30	dBm
<b>Ganancia de la Antena</b>	18.5	dBi
<b>Perdida por cable</b>	2	dB
<b>Potencia Isotrópica</b>	127.2	
<b>Perdida por Propagación permitida</b>	151.2	dB

**Tabla 13 Link Budget Uplink**

<b>Transmitter - Node B</b>		
<b>Potencia del Tx</b>	46.0	dBm
<b>Perdida por cable</b>	2	Dbi
<b>Ganancia de la Antena</b>	18.5	dB
<b>PIRE</b>	62.5	dBm
<b>Receiver - Handset</b>		
<b>Sensibilidad</b>	-95.0	dBm
<b>Ganancia de la Antena</b>	2	dB
<b>Perdida por cuerpo</b>	0	dB
<b>Potencia Isotrópica</b>	-90.9	
<b>Perdida por Propagación permitida</b>	153.4	dB

**Tabla 14 Link Budget Downlink**



### 3.2.6 Red de Transporte

El diseño de radioenlaces es una disciplina que involucra toda una serie de cuestiones tales como la elección de la banda de frecuencias, el tipo de antenas y los equipos de radiocomunicación, el cálculo del balance de potencias, la estimación de los niveles de ruido e interferencia o el conocimiento de las distintas modalidades y fenómenos de propagación entre otras.

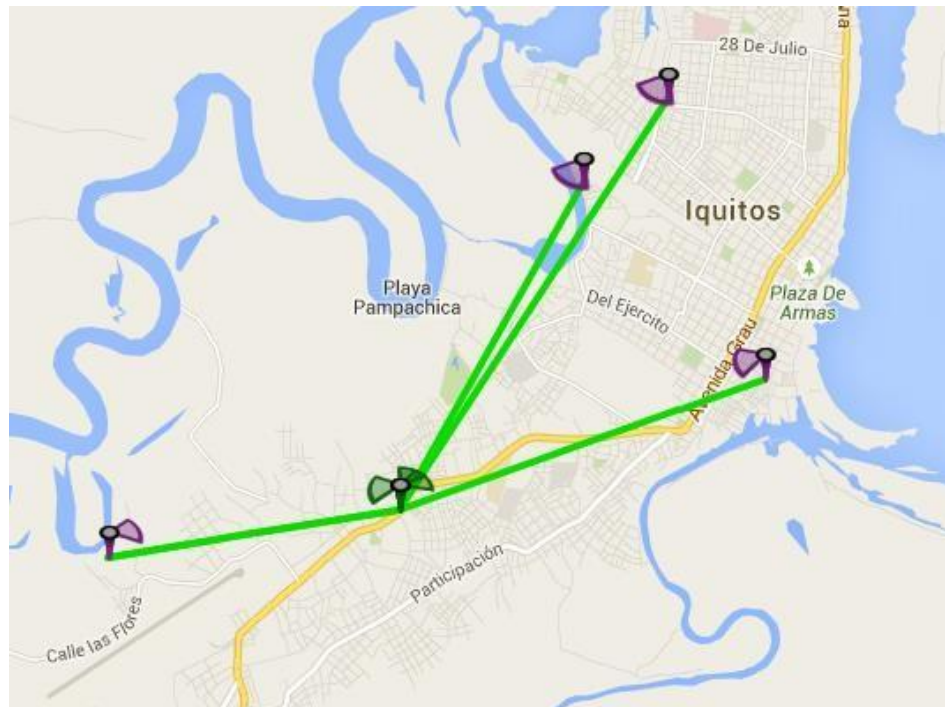
Se utilizará los canales de frecuencia 21, 22, 23 y 24 según la Tabla 16. Apoyados con la aplicación online Xirio se realizó los radio Enlace punto a punto con línea de vista. El RNC se encontrará en el Nodo B Los\_Angeles por lo tanto todos los radio enlace se concentrarán en este Nodo B. El equipo a utilizar será de la serie 9400 de Alcatel específicamente el 9423 UX que trabaja en la banda de frecuencia de 23Ghz como se aprecia en la Tabla 15

<b>9423 UX (23 Ghz) Alcatel</b>	
Sistema estándar	ETSI ETS 300-198
Canalización	ITU-R - CEPT
Capacidad (Mbits/s)	2x2 8 8x2 34
Ancho de banda del Canal	3.5 7 14 28 Mhz
Modulación	4 QAM
Banda de Frecuencia (Ghz)	21.2 - 23.6
Estabilidad de frecuencia	10 ppm
Potencia Tx	19 dBm
Control de Potencia	0 – 30 dB
Umbral de recepción BER=10 <sup>-3</sup>	-90.0 dBm
Umbral de recepción BER=10 <sup>-6</sup>	-87.0 dBm
Ganancia del Sistema	109 dB

**Tabla 15 Características del equipo RF**

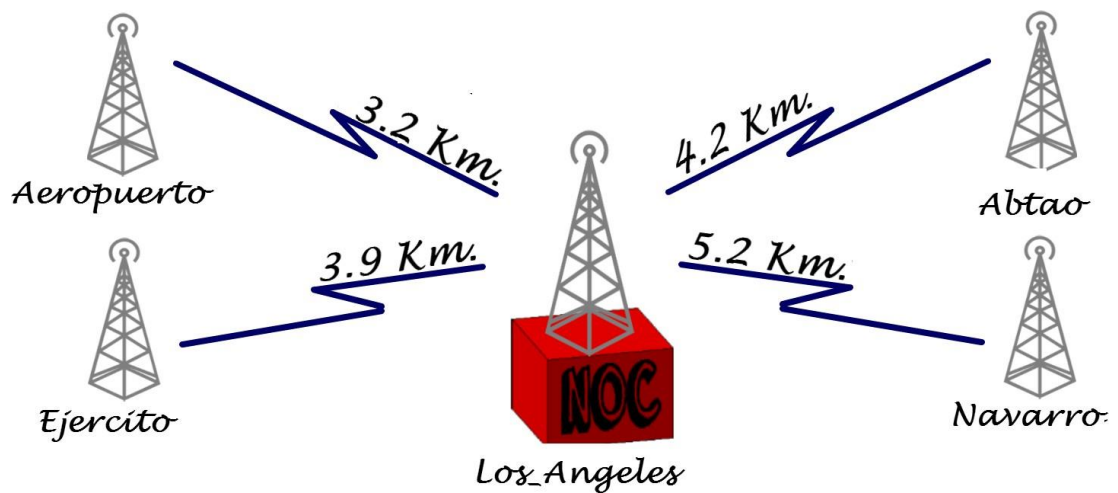
CANAL	FRECUENCIA	
	IDA	RETORNO
...	...	...
21	21 798	23 030
22	21 826	23 058
23	21 854	23 086
24	21 882	23 114
...	...	...

**Tabla 16 Canalización para Radio Enlace (MTC)**



**Figura 22 Radio Enlace**

Fuente: Xirio Online



**Figura 23 Distancias entre los Radio Enlaces**

Elaboración Propia

La Ganancia del sistema del equipo 9423 UX es de 109 dB y esta debe ser mayor a la obtenida por los cálculos

Para constatar que el enlace realizado cumple con las especificaciones dadas por el fabricante del equipo 9423 UX se realiza los siguientes cálculos:

$$G_{RX} = G_{TX} + G_{ANT} + G_{CABLE} - L_{LIBRE} - L_{CABLE}$$

Dónde:

$G_{TX}=G_{RX}$ : Ganancias de las antenas de transmisión y recepción.

$F_M$ : Margen de desvanecimiento

$L_P$ : Pérdidas en el espacio libre

$L_c$ : Pérdidas en los cables, guías de onda.

Para el margen de desvanecimiento ( $F_m$ ) se debe considerar el efecto de multi trayecto, sensibilidad del terreno, confiabilidad y una constante de 70. En

el caso de la sensibilidad del terreno se debe considerar un  $A=1$  porque el terreno es liso y  $B=0.5$  por ser un terreno caliente y húmedo.  $R$  es la confiabilidad en tanto por uno es decir para un 99.99% tendríamos un 0.9999 de confiabilidad.

$$K_f = 30 * \log R + 10 * \log(6 * A * B * C) - 10 * \log(1 - R) - 70$$

Para hallar  $L_p$  se requiere de la frecuencia ( $f$ ) a usar y la distancia entre enlaces ( $d$ ) como se puede apreciar en la siguiente fórmula:

$$K_f = 32.4 + 20 * \log f + 20 \log d$$

	<b>Aeropuerto</b>	<b>Abtao</b>	<b>Ejercito</b>	<b>Navarro</b>	<b>Unid.</b>
<b>f</b>	21.798	21.826	21.854	21.882	Ghz
<b>d</b>	3.2	4.2	3.9	5.2	Km
<b>Gtx</b>	19	19	19	19	dBi
<b>Lp</b>	129.271333	131.644469	131.011911	133.521807	dB
<b>Fm</b>	-6.6896873	-3.14113292	-4.10110554	-0.34738269	dB
<b>Lc</b>	2	2	2	2	dB
<b>Gs</b>	84.5816452	90.5033359	88.9108054	95.1744245	dB

**Tabla 17 Cálculos de Radio Enlace**

### 3.3 Discusión de los Resultados

Para poder comprobar que los parámetros utilizados en el diseño son adecuados se hace una comparación de los datos obtenidos con los parámetros brindados por el fabricante de los equipos.

En la Tabla 13 Link Budget Uplink y la Tabla 14 Link Budget Downlink se puede apreciar los parámetros a tener en cuenta, puesto que el Nodo B que se utilizará será Nodo B 3900 de la Marca Huawei el cual tiene una sensibilidad de -128.3 dBm

Analizando la Tabla 11 Uplink (Pérdida de Propagación) y Tabla 12 Downlink (Pérdida de Propagación) se aprecia que el Nodo B (Aeropuerto) tiene una pérdida por propagación de 143.57 dB la cual es mayor a comparación a de los demás Nodos B. Tomando este valor (143.57 dB) y comparándolo con la Máxima Pérdida de Propagación Permitida (153.4 dB) de la Tabla 14 Link Budget Downlink vemos que se cumple con los parámetros requeridos por el Link Budget

Para la Red de transporte: los resultados se pueden apreciar en la Tabla 17. Analizando que la Ganancia del sistema obtenida ( $G_s$ ) es menor que la Ganancia del sistema de cada uno de los radio enlace es menor que la ofrecida por el fabricante del equipo (109 dB) v

## Conclusiones

- La ciudad de Iquitos se muestra como un lugar propicio para que un operador invierta debido al alto grado de disconformidad de los usuarios puesto que en la actualidad solo un operador se encuentra ofreciendo sus servicios.
- Se debe tener en cuenta que para el diseño mayormente se utiliza datos teóricos el cual se corroborará en una futura implementación. Cabe resaltar que es de esta forma que se desarrolla un plan de Diseño e Implementación. Las correcciones se podrán efectuar en una fase de optimización.
- En el diseño se utilizó la banda de frecuencia de 900 Mhz la que en la actualidad se encuentra otorgada a Viettel Perú S.A.C. Por ende para llevar a la práctica la implementación será requisito poder alquilar a esa empresa una parte de las frecuencias.

## Recomendaciones

- En el presente trabajo se ha diseñado cada estación base teniendo en consideración por cada estación 3 antenas. En caso de Implementación se recomienda colocar en cada estación 6 antenas de manera que 3 de ellas se encuentren en modo “stand by” con la finalidad de ser el caso de necesitar mayor capacidad se pueda configurar estas antenas y así aumentar el número de sectores disponibles.
- En caso de una futura implementación de una red de comunicación con tecnología 4G se recomienda usar la misma infraestructura a fin de reducir costos

## Bibliografía

Hata, M. (1980). *Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services*. IEEE Transactions on Vehicular Technology.

Huidobro, J. M. (2012). *Comunicaciones Móviles. Sistemas GSM, UMTS Y LTE*. Madrid: RA-MA EDITORIAL.

J. M. Hernando, C. L. (2001). *Comunicaciones Móviles de Tercera Generación: Sistema UMTS*. Madrid: Telefónica Móviles España.

Pablo Tapia, J. L. (2009). *HSPA Performance and Evolution: A practical perspective*. United Kingdom: Wiley.

Sallent Roig, O. P. (2014). *Fundamentos de diseño y gestión de sistemas de comunicaciones móviles celulares*. Barcelona.



## Anexo



### 2.8 - Technical characteristics

The values indicated hereafter are typical values.

REFERENCE STANDARDS AND FREQUENCY PLANS					
Equipment	Reference Standard	Band (GHz)	Frequency (GHz)	Channeling	Standard * Tx/Rx separation (MHz)
9413 UX 4QAM	EN 301 128	13 GHz	12.75-13.25	ERC 12-02 ITU-R Rec F497-6	266
9413 UX 16QAM	EN 301 128	13 GHz	12.75-13.25	ERC 12-02 ITU-R Rec F497-6	266
9415 UX 4QAM/16QAM	EN 301 128	13 GHz	14.4-15.35	ERC 12-07 ITU-R Rec F636-3	728, 315, 420, 490
9418 UX 4QAM/16QAM	EN 301 128	18 GHz	17.7-19.7	ERC 12-03 ITU-R Rec F595-3	1008, 1010, 340, 1560, 1092.5
9423 UX 4QAM	EN 300 198	23 GHz	21.2-23.6	ERC 13-02 annex A ITU-R Rec F637-3	1008, 1197, 1200, 1232
9423 UX 16QAM	EN 300 198	23 GHz	21.2-23.6	ERC 13-02 annex A ITU-R Rec F637-3	1008, 1197, 1200, 1232
9425 UX 4QAM	EN 300 431	25 GHz	24.5-26.5	ERC 13-02 annex B ITU-R Rec F748-3	1008
9425 UX 16QAM	EN 300 431	25 GHz	24.5-26.5	ERC 13-02 annex B ITU-R Rec F748-3	1008
9438 UX 4QAM	EN 300 197	38 GHz	37-39.5	ERC 12-01 ITU-R Rec F749-1	1260
9438 UX 16QAM	EN 300 197	38 GHz	37-39.5	ERC 12-01 ITU-R Rec F749-1	1260

(\*) Consult Alcatel if non-standard Tx/Rx separations are requested.

(\*) Consult Alcatel for availability of these options.

RF CHANNELING				
Capacity (Mbit/s)	2x2	4x2	8x2	16x2 / 34 + 2
RF Channeling (MHz) (4QAM modulation)	3.5	7	14	28
RF Channeling (MHz) (16QAM modulation)	-	-	7	14

IN-FIELD TUNABILITY RANGE FOR 94XXUXR201, 94XXUXR202 OR 94XXUXR203			
Equipment	Max frequency agility band depending on duplex difference (MHz)	Output Power (dBm)	Output Power Setting option (dB)
9413 UX 4QAM	116	25	Fixed attenuator: 3, 6, or 10 dB for 3CC08879AAxx
9413 UX 4QAM RTPC	116	25	+25 dBm to 5 dBm with 1 dB step for 3CC12690AAxx
9413 UX 16QAM	116	21	+21 dBm to 1 dBm with 1 dB step for 3CC12683AAxx
9415 UX 4QAM	220	21	Fixed attenuator: 3, 6, or 10 dB for 3CC08880AAxx
9415 UX 4QAM RTPC	220	24	+24 dBm to -6 dBm with 1 dB step for 3CC12979AAxx
9418 UX 4QAM	480	16 24*	Fixed attenuator: 3, 6, or 10 dB
9423 UX 4QAM RTPC	500	19	+19 to -11 dBm with 1 dB step
9423 UX 16QAM	500	17	+17 to -3 dBm with 1 dB step
9425 UX 4QAM RTPC	450	18	+18 to -12 dBm with 1 dB step
9425 UX 16QAM	450	16	+16 to -14 dBm with 1 dB step
9438 UX 4QAM RTPC	560	16	+16 to -14 dBm with 1 dB step
9438 UX 16QAM	560	14	+14 to -6 dBm with 1 dB step

(\*) Consult Alcatel for availability of this option.

## Anexo 2 Ficha técnica del equipo de Radiofrecuencia 9423 UX

TUNABILITY RANGE FOR NEW GENERATION A9400UX flat ODU					
Equipment		Duplex spacing (MHZ)	Frequency agility band (MHz)	Output power setting (dB) (RTPC)	ATPC range
9413 UX	4 QAM	266	116	+24 to -6 dBm with 1 dB step	24 to 4 dBm
	16 QAM			+20 to -10 dBm with 1 dB step	20 to 0 dBm
9415 UX	4 QAM	315, 420, 490, 728	220	+24 to -6 dBm with 1 dB step	24 to 4 dBm
	16 QAM			+20 to -10 dBm with 1 dB step	20 to 0 dBm
9418 UX	4 QAM	340, 1008, 1010, 1260, 1092.5	480	+22 to -8 dBm with 1 dB step	22 to 2 dBm
	16 QAM			+19 to -11 dBm with 1 dB step	19 to -1 dBm
9423 UX	4 QAM	1008, 1200, 1232	500	+19 to -11 dBm with 1 dB step	19 to -1 dBm
	16 QAM			+16 to -14 dBm with 1 dB step	16 to -4 dBm
9425 UX	4 QAM	1008	450	+17 to -13 dBm with 1 dB step	17 to -3 dBm
	16 QAM			+14 to -16 dBm with 1 dB step	14 to -6 dBm
9438 UX	4 QAM	1260	560	+16 to -14 dBm with 1 dB step	16 to -4 dBm
	16 QAM			+13 to -17 dBm with 1 dB step	13 to -7 dBm

TYPICAL BER THRESHOLDS AT ANTENNA PORT FOR 94xxUXR201, 94xxUXR202 OR 94xxUXR203 in dBm								
Equipment	2x2		4x2		8x2		16x2 / 34 + 2	
	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>
9413 UX 4QAM	-95	-92	-92	-89	-89	-86	-86	-83
9413 UX 16QAM	-	-	-	-	-83	-80	-80	-77
9415 UX 4QAM	-94	-91	-91	-88	-88	-85	-85	-82
9418 UX 4QAM	-94	-91	-91	-88	-88	-85	-85	-82
9423 UX 4QAM	-92	-89	-89	-86	-86	-83	-83	-80
9423 UX 16QAM	-	-	-	-	-82	-79	-79	-76
9425 UX 4QAM	-91	-88	-88	-85	-85	-82	-82	-79
9425 UX 16QAM	-	-	-	-	-81	-78	-78	-75

**Banda 21 200 – 23 600 MHz (Servicio fijo utilizando radioenlaces digitales)**

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 28 MHz	
	Ida	Retorno
1	21 238	22 470
2	21 266	22 498
3	21 294	22 526
4	21 322	22 554
5	21 350	22 582
6	21 378	22 610
7	21 406	22 638
8	21 434	22 666
9	21 462	22 694
10	21 490	22 722
11	21 518	22 750
12	21 546	22 778
13	21 574	22 806
14	21 602	22 834
15	21 630	22 862
16	21 658	22 890
17	21 686	22 918
18	21 714	22 946
19	21 742	22 974
20	21 770	23 002

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 28 MHz	
	Ida	Retorno
21	21 798	23 030
22	21 826	23 058
23	21 854	23 086
24	21 882	23 114
25	21 910	23 142
26	21 938	23 170
27	21 966	23 198
28	21 994	23 226
29	22 022	23 254
30	22 050	23 282
31	22 078	23 310
32	22 106	23 338
33	22 134	23 366
34	22 162	23 394
35	22 190	23 422
36	22 218	23 450
37	22 246	23 478
38	22 274	23 506
39	22 302	23 534
40	22 330	23 562

**Anexo 4 Bandas de Frecuencias dadas por el MTC**

## Antenna Capabilities

Table 11-9 shows antenna capabilities for the WRFU.

Table 11-9 Antenna capabilities for the WRFU

Type	TMA Capabilities	RET Antenna Capabilities
WRFU	Supported	Supports AISG2.0

### NOTE

For RFUs supporting RET antennas, the feed voltage is 12 V and feed current is 2.3 A.

## 11.1.2 Technical Specifications for MRFU

MRFUs are classified into MRFU V1, MRFU V2 and MRFU V2a. Adopting the software-defined radio (SDR) technology, MRFU modules can work in different modes with different configurations.

### Supported Modes and Frequency Bands

Table 11-10 shows the modes and frequency bands supported by an MRFU.

Table 11-10 Modes and frequency bands supported by an MRFU

Type	Mode	Frequency Band (MHz)	RX Frequency Band (MHz)	TX Frequency Band (MHz)
MRFU V1	GSM UMTS	900	890-915	935-960
		1800	1710-1755	1805-1850
			1740-1785	1835-1880
		1900	1850-1890	1930-1970
1870-1910	1950-1990			
MRFU V2	GSM UMTS LTE	850	824-846.5	869-891.5
		900	890-915	935-960
			880-915	925-960
		1800	1710-1770	1805-1865
			1725-1785	1820-1880
MRFU V2a	GSM UMTS LTE	900	885-910	930-955
		1800	1710-1755	1805-1850

## RF Specifications

Table 11-11 shows RF specifications for an MRFU.

### NOTE

- The receiver sensitivity of GSM, as recommended in 3GPP TS 51.021, is measured in the central band (80% of the entire operating band, excluding the edge band) at the antenna connector on the condition that the channel rate is 13 kbit/s and the Bit Error Rate (BER) is not higher than 2%.
- The receiver sensitivity of UMTS, as recommended in 3GPP TS 25.104, is measured in the entire operating band at the antenna connector on the condition that the channel rate is 12.2 kbit/s and the BER is not higher than 0.001.
- The receiver sensitivity of LTE should be obtained from the LTE marketing personnel.
- The MRFU complies with ETSI EN 301 908 V5.2.1 standards.

Table 11-11 RF specifications for an MRFU

Type	Transmit and Receive Channels	Capacity	Receiver Sensitivity (dBm)			Output Power	Power Consumption
			1-Way Receiver Sensitivity (dBm)	2-Way Receiver Sensitivity (dBm)	4-Way Receiver Sensitivity (dBm)		
MRFU V1	1T 2R	GSM: 6 carriers UMTS: 4 carriers	GSM (900 PGSM/1800): -113 UMTS (900 PGSM/1800): -125.5	GSM (900 PGSM/1800): -115.8 UMTS (900 PGSM/1800): -128.3	GSM (900 PGSM/1800): -118.5 UMTS (900 PGSM/1800): -131	Output Power of an MRFU V1 (900 MHz/1800 MHz/1900 MHz)	Power consumption (configured with MRFU V1, 900 MHz)
MRFU V2	1T 2R	GSM: 6 carriers UMTS: 4 carriers LTE: • 900 MHz: 1x	GSM: • 900 PGSM: -113.5 • 900 EGSM: -113.3 • 1800: -113.8	GSM: • 900 PGSM: -115.8 • 900 EGSM: -116.1 • 1800: -116.6	GSM: • 900 PGSM: -118.5 • 900 EGSM: -118.8 • 1800: -119.3	Output Power of an MRFU V2 (900 MHz/1800 MHz)	Power consumption (configured with MRFU V2, 900 MHz)

## Anexo 6 Especificaciones técnicas de la Unidad de Radiofrecuencia Estación Base

<b>CUMPLIMIENTO DE ENTREGAS (PLAZO MÁXIMO)</b>	<b>CAPITALES DE PROVINCIA BENEFICIARIAS</b>	<b>CAPITALES DE PROVINCIA BENEFICIARIAS (ACUMULADO)</b>	<b>CRONOGRAMA DE ENTREGA DE LA PROPUESTA TÉCNICA DEFINITIVA</b>	
Primera entrega: Región Huancavelica, incluye la interconexión en Lurín y al NAP Perú.	Mes 9 Marzo 2015	7	7	Mes 5
Segunda entrega: Regiones Ayacucho, Apurímac, Ica.	Mes 12 Junio 2015	23	30	Mes 7
Tercera entrega: Regiones Huánuco, Pasco.	Mes 15 Setiembre 2015	14	44	Mes 10
Cuarta entrega: Regiones Cusco, Arequipa, Junín, Ancash, Lima, Callao, Moquegua, Tacna, Ucayali.	Mes 18 Diciembre 2015	70	114	Mes 13
Quinta entrega: Regiones Puno, Madre de Dios, La Libertad, Lambayeque, Piura, Cajamarca.	Mes 21 Marzo 2016	49	163	Mes 16
Sexta entrega: Regiones San Martín, Amazonas, Loreto y puesta en servicio total (operación) de la RDNFO.	Mes 24 Junio 2016	17	180	Mes 19

**Anexo 7 Entrega del proyecto Red Dorsal de Fibra Óptica según MTC**

### RED DE FIBRA ÓPTICA AL 2011



### RED DE FIBRA ÓPTICA A JUNIO DE 2016



Anexo 8 Mapa de la Red Dorsal de Fibra Óptica en el Perú



## Comparación de modelos

Modelo	Tipo	Entorno	Mapa	Usado
Tierra plana	Analítico	Rural	–	*
UIT-R P.526	Analítico	Rural	100 m	**
Hata	Empírico	Urbano	20 m	**
		Rural	200 m	**
Ajustable tipo Hata	Empírico	Urbano	20 m	***
		Rural	200 m	***
COST 231, Xia	Semiempírico	Urbano	2 m, edificios	**
GTD	Analítico	Urbano	1m, edificios	*
Microcélulas	Semiempírico	Urbano	4 m, edificios	**
Interiores simple	Empírico	Interiores	–	**
Interiores detallado	Empírico	Interiores	1m, 3D, materiales	*



## Otros Métodos de Cálculo para la Perdida por Propagación

- **Rec. 526 UIT-R:** Método determinístico basado en difracción. Válido para frecuencias mayores de 30 MHz. Empleado en todos los servicios radioeléctricos en entornos rurales y mixtos siempre que se disponga de cartografía de media o alta resolución.

- **Deygout:** Método determinístico basado en difracción. Válido para frecuencias mayores de 30 MHz. Empleado en todos los servicios radioeléctricos en entornos rurales y mixtos siempre que se disponga de cartografía de media o alta resolución. .

- **Línea de vista:** Método de cálculo que proporciona predicción del nivel de señal únicamente en condiciones de despejamiento del trayecto, aplicando la atenuación por espacio libre. .

- **Rec. 1546 UIT-R:** Método empírico para la gama de frecuencias de 30 MHz a 1 GHz. Válido en entornos rurales para cualquier servicio radioeléctrico, pero especialmente recomendado para radiodifusión sonora y audiovisual cuando no se dispone de cartografía precisa o a distancias superiores a los 100 kms. .

- **Okumura-Hata:** Método empírico válido en la gama 150 MHz a 2 GHz. Recomendado para servicios de móviles y de acceso de banda ancha en entornos rurales y urbanos cuando no se disponga de cartografía de alta resolución. .

- **Okumura-Hata modulado :** Método híbrido válido en la gama 150 MHz a 2 GHz. Basado en el método de Okumura-Hata, realiza una corrección en función de las pérdidas de difracción, aprovechando la cartografía de alta resolución en entornos urbanos. .

- **Xia-Bertoni:** Método determinístico válido en la gama de frecuencias de 800 MHz a 2 GHz. Recomendado para entornos urbanos en servicios móviles y acceso de banda ancha. Requiere cartografía urbana con información de edificios (MDE). .

- **Rec. 1411 UIT-R:** Método determinístico válido en la gama de frecuencias de 800 MHz a 5 GHz. Recomendado para entornos urbanos en servicios móviles y acceso de banda ancha. Requiere cartografía urbana con información de edificios (MDE). .

- **COST 231:** Método determinístico válido en la gama de frecuencias de 800 MHz a 2 GHz. Recomendado para entornos urbanos en servicios móviles y acceso de banda ancha. Requiere cartografía urbana con información de edificios (MDE). .

- **Stanford University Interim:** Método empírico válido para frecuencias menores de 11 GHz. Recomendado para el servicios móviles y de acceso a banda ancha (especialmente WIMAX) cuando no se dispone de cartografía urbana con edificios (MDE). .

- **Rec. 1812 UIT-R:** Método determinístico válido en la gama de frecuencias de 30 MHz a 3 GHz. Empleado en entornos rurales y mixtos para todos los servicios radioeléctricos, y especialmente radiodifusión, siempre que se disponga de cartografía de media o alta resolución.

- **Rec. 452 UIT-R:** Método de cálculo determinístico válido en la gama de frecuencias de 700 MHz a 50 GHz. Especialmente recomendado para el cálculo de interferencias en radioenlaces del servicio fijo.

- **Rec. 530 UIT-R:** Método de cálculo determinístico válido para frecuencias mayores de 30 MHz. Incorpora el análisis de viabilidad de radioenlaces digitales del servicio fijo.

- **Definido por el usuario:** Método de cálculo configurable por el usuario, en el cual es posible definir la pérdida básica asociada a la propagación de la señal mediante una expresión configurada manualmente por el usuario. En los términos de dicha expresión podrán combinarse términos en los que intervenga la distancia (Km), la frecuencia (MHz), la altura del transmisor (m), la altura del receptor (m), la altura efectiva de transmisor (m) y las pérdidas por difracción (dB).