



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



DISEÑO DE UNA RED DE TELEFONIA MOVIL  
DE TERCERA GENERACION WCDMA PARA LA  
CIUDAD DE TACNA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO DE LAS TELECOMUNICACIONES  
PRESENTADO POR:

Daniel Guillén Guevara

LIMA – PERÚ

2008

## Resumen

El primer capítulo abarca el marco teórico, donde se recopiló información sobre la evolución hacia la tercera generación de telefonía móvil y la tecnología WCDMA. La topología genérica y demás atributos de esta nueva tecnología.

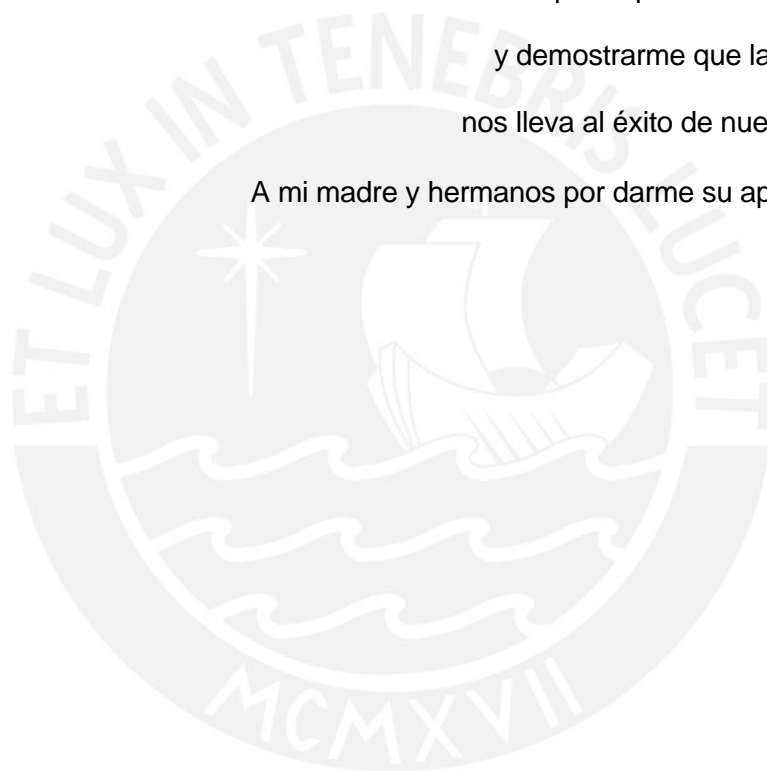
En el segundo capítulo se hizo una recopilación de información socio-económica que permita la determinación de necesidades y las posibilidades de la instalación de tecnologías de tercera generación en la ciudad de Tacna. Además se evaluará el mercado y su proyección a corto plazo.

En el tercer capítulo servirá para plasmar toda la ingeniería de la red, lo cual abarca cálculos para la cobertura de los nodos B, basados en los modelos de propagación para comunicaciones móviles, la determinación de la capacidad de las estaciones base, los cálculos de la red de transporte (enlaces punto a punto - microondas). Así también se verá los posibles equipos a utilizar.

En el cuarto y último capítulo veremos los aspectos económicos, que implica la implementación de una red de tercera generación (CAPEX y OPEX) así como los futuros planes económicos para los usuarios, con lo cual sabremos a gran escala cuan reentable es una red de esta envergadura.

Esta tesis esta dedicada especialmente  
a mi padre por enseñarme el camino  
y demostrarme que la perseverancia  
nos lleva al éxito de nuestros objetivos.

A mi madre y hermanos por darme su apoyo constante.

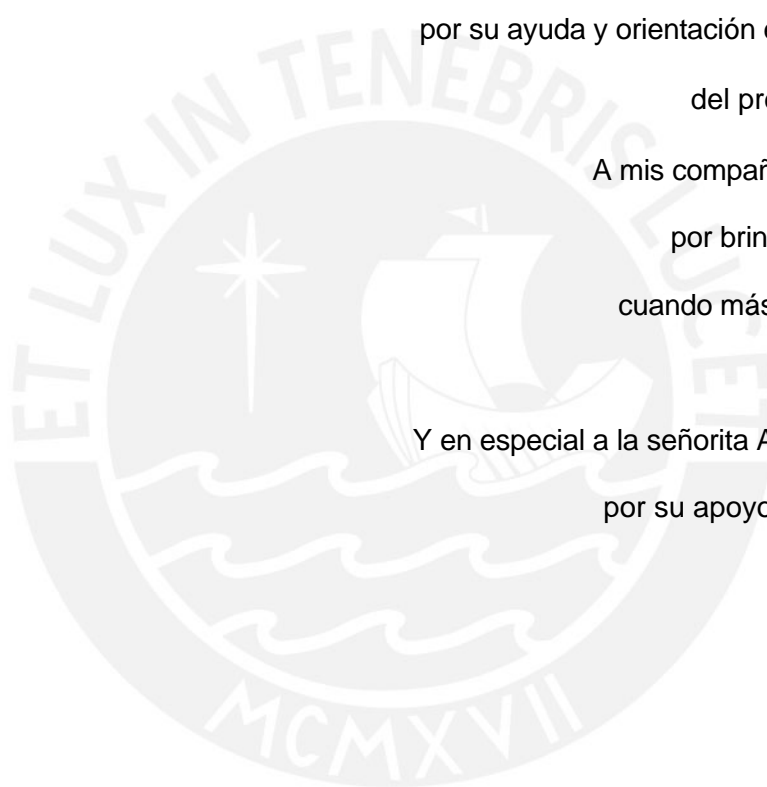


Agradecimientos:

A mi asesor, el Ingeniero Percy Fernández Pilco,  
por su ayuda y orientación en el desarrollo  
del presente trabajo.

A mis compañeros y colegas  
por brindarme la mano  
cuando más lo necesitaba.

Y en especial a la señorita Andrea Hurtado  
por su apoyo incondicional.



## Índice

Índice.....	V
Lista de figuras.....	VII
Lista de tablas.....	IX
Introducción.....	1
<b>Capítulo 1 – Marco Teórico</b>	
1.1 La tercera Generación de la Telefonía Móvil.....	2
1.1.1 Primera Generación.....	3
1.1.2 Segunda Generación.....	3
1.1.3 Tercera Generación .....	4
1.2 Tecnología WCDMA .....	6
1.2.1 Principales características técnicas.....	6
1.2.2 Conceptos Básicos.....	8
1.2.2.1 Ensanchado y Des-ensanchado ( <i>Spreading and Despreading</i> ).....	8
1.2.2.2 Multi-caminos y recepción <i>RAKE</i> .....	9
1.2.2.3 Control de potencia.....	11
1.2.2.4 <i>Softer</i> y <i>Soft Hand-overs</i> .....	12
1.2.3 Estructura de la red.....	13
1.2.3.1 UTRAN.....	14
1.2.3.1.1 RNC – Controlador de Radio de la red.....	14
1.2.3.1.2 Nodo B.....	14
1.2.3.1.3 Interfaces y elementos del Núcleo de Red.....	14
1.2.4 Capa física.....	16
1.2.4.1 Ensanchamiento y modulación .....	16
1.2.4.2 Canales de transporte y físicos.....	18
1.3 El Estándar Europeo – UMTS.....	19
<b>Capítulo 2 – Viaje de reconocimiento de la zona</b>	
2.1 Introducción.....	21
2.2 Información Socio-Económica de la Ciudad.....	22
2.3 Situación Actual de las Telecomunicaciones en la ciudad de Tacna	
2.3.1 Datos comparativos.....	25
2.3.2 Servicio de telefonía fija.....	27
2.3.3 Servicio de Valor añadido o banda ancha.....	28
2.3.4 Servicio de telefonía móvil.....	29
2.3.5 Servicio de televisión.....	33
2.4 Determinación de necesidades y evaluación del mercado.....	34
2.4.1 Población .....	34
2.4.2 Vivienda.....	36
2.4.3 Ubicación General de la demanda.....	37

2.4.4	Delimitación Geográfica del mercado.....	39
2.5	Encuestas en la ciudad de Tacna.....	41

**Capítulo 3 – Diseño de la red**

3.1	Elección de la banda de 900MHz.....	46
3.2	Topología de la red.....	48
3.3	Cobertura de los Nodos B.....	52
3.3.1	Modelos de propagación.....	52
3.3.1.1	Modelo de Okumura-Hata.....	52
3.3.1.2	Modelo Cost – 231.....	54
3.3.2	Determinación de la capacidad de los Nodos B.....	62
3.3.2.1	Planes de servicio final al usuario.....	63
3.3.2.2	Ejemplo de tráfico de voz.....	67
3.3.2.3	Ejemplo de tráfico de datos.....	68
3.3.3	Capacidad necesaria para los enlaces de transporte.....	69
3.4	Diseño de la red de transporte.....	71
3.4.1	Comprobación con software de simulación del enlace.....	77
3.5	Determinación del equipamiento.....	79

**Capítulo 4 – Evaluación económica**

4.1	Inversión Inicial.....	82
4.2	Costos de Operación y Mantenimiento.....	84
4.3	Evaluación Económica del proyecto y periodo de recupero del capital.....	85

<b>Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>89</b>
--	-----------

<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>90</b>
--------------------------	-----------

Sólo en formato electrónico:

ANEXO A: Mapa de la ciudad de Tacna (Autocad)

ANEXO B: Plan de Viaje – Fotos

ANEXO C: Licitación de Banda de 900MHz

ANEXO D: Hojas técnicas de equipamiento

ANEXO E: Tablas de Erlang B

## Lista de Figuras

Número	Página
Figura 1.1 Evolución de los sistemas de Telefonía Móvil.....	3
Figura 1.2 Estándares para la interfaz terrestre.....	5
Figura 1.3 Asignación del ancho de banda en WCDMA.....	6
Figura 1.4 Ensanchado y Des-ensanchado de la señal.....	8
Figura 1.5 Efecto de Multi-caminos.....	9
Figura 1.6 Diagrama de bloques de un receptor RAKE para CDMA.....	10
Figura 1.7 <i>Softer Hand-over</i> .....	12
Figura 1.8 <i>Soft Hand-over</i> .....	12
Figura 1.9 Elementos de una red Publica Móvil.....	13
Figura 1.10. Topología de una red WCDMA.....	15
Figura 1.11. Relación entre Canalización y Aleatorización.....	17
Figura 1.12 Generación de los códigos Ortogonales .....	17
Figura 2.1 Departamento de Tacna.....	22
Figura 2.2 Cobertura de electricidad y pobreza 2004.....	23
Figura 2.3 Vista satelital de la ciudad Departamento de Tacna.....	24
Figura 2.4 Vista panorámica de la ciudad de Tacna – Agosto2007.....	24
Figura 2.5: El perímetro de la ciudad crece día a día .....	25
Figura 2.6: El Perú en cifras internacionales.....	26
Figura 2.7: Evolución de la densidad de Telefonía en el Perú.....	26
Figura 2.8: Líneas de Servicio Telefonía Fija en Tacna.....	27
Figura 2.9: Número de conexiones y penetración por departamento.....	28
Figura 2.10: Distribución del mercado Nacional entre operadores Móviles.....	30
Figura 2.11: Ubicaciones de las Estaciones base (BTS) –2006.....	30
Figura 2.12: Líneas de telefonía fija y móvil a nivel nacional.....	31
Figura 2.13: Líneas de telefonía móvil en Tacna.....	32
Figura 2.14: Densidad fija y móvil por departamento – Septiembre 2006.....	32
Figura 2.15: Evolución de densidad de los abonados de televisión por suscripción....	34
Figura 2.16: Distribución población por provincias.....	35
Figura 2.17: Mapa provincial y distrital.....	36
Figura 2.18: Distribución de la PEA por actividad económica.....	38
Figura 2.19: Distribución de empleo según sectores económicos.....	39



Figura 2.20: Tráfico de un sector de una estación base en la ciudad de Tacna.....	40
Figura 2.21: Mapa catastral de Tacna, zonificación del mercado potencial.....	41
Figura 2.22: Satisfacción del Servicio Móvil actual – agosto 2007.....	42
Figura 2.23: Causa y motivos por los cuales se creen que se tiene mala calidad del servicio telefónico móvil en la ciudad de Tacna.....	43
Figura 2.24: Distribución de los servicios multimedia.....	44
Figura 2.25: Video-llamada como medio de negocios.....	44
Figura 3.1: Situación anterior de la Banda 900Mhz (890 – 960 MHz).....	47
Figura 3.2: Situación luego de la licitación publica de la banda de 900MHz.....	48
Figura 3.3: Ejemplo de torre ventada – distribución de vientos.....	49
Figura 3.4: Cobertura deseada proyectada.....	51
Figura 3.5: Ángulo entre rayo directo y el eje horizontal a la calle.....	55
Figura 3.6: Parámetros de las perdidas por difracción.....	56
Figura 3.7: Distribución de la población de la ciudad de Tacna y alrededores.....	65
Figura 3.8 : Simulación de propagación de la portadora WCDMA (Pilot Ec/Io).....	71
Figura 3.9: Red de Transporte – Topología estrella.....	73
Figura 3.10: Evaluación de radio enlaces mediante RADIOMOBILE.....	77
Figura 3.11: Resultados de la simulación de los enlaces de transporte.....	78
Figura 4.1: Resumen de la evolución del capital invertido.....	88

## Lista de Tablas

Número	Página
Tabla 1.1. Principales parámetros de WCDMA.....	7
Tabla 1.2. Canales de Transporte Común.....	18
Tabla 1.3. Mapeo de Canales de Transporte en los Canales Físicos.....	19
Tabla 2.1: Crecimiento de Conexiones a Internet.....	29
Tabla 2.2: Distribución del mercado de telefonía celular en Tacna.....	30
Tabla 2.3: Número de Estaciones Base en el departamento de Tacna.....	31
Tabla 2.4: Distribución de canales de televisión en la provincia de Tacna.....	33
Tabla 2.5: Distribución poblacional censada 2005.....	34
Tabla 2.6: Población de la provincia de TACNA por Sexo y por distrito.....	35
Tabla 2.7: Indicadores sobre PET, PEA y PEA ocupada. Tacna 2005.....	37
Tabla 2.8: Promedio de remuneraciones por categoría del sector privado.....	37
Tabla 2.9: Distribución de la PEA ocupada por grupo ocupacional.....	39
Tabla 3.1: Resumen nodo B – TACNA_CENTRO.....	49
Tabla 3.2: Resumen nodo B – POCOLLAY.....	49
Tabla 3.3: Resumen nodo B – ABARRACIN.....	50
Tabla 3.4: Resumen nodo B – ZOFRA_TACNA.....	51
Tabla 3.5: Parámetros para el enlace de <i>uplink</i> .....	57
Tabla 3.6: Parámetros para el enlace de <i>downlink</i> .....	58
Tabla 3.7: Parámetros estáticos de los <i>sites</i> restantes.....	60
Tabla 3.8: Potencia de recepción en el límite del <i>uplink</i> .....	60
Tabla 3.9: Potencia de recepción en el límite del <i>downlink</i> .....	61
Tabla 3.10: Potencia de recepción con TMA.....	61
Tabla 3.11: Distancias máximas de cobertura según entorno y servicio.....	62
Tabla 3.12: Niveles de sensibilidad del Nodo B según el servicio ofrecido.....	62
Tabla 3.13: Resumen de los planes ofrecidos.....	64
Tabla 3.14: Distribución del servicio y proyección del mercado .....	66
Tabla 3.15: Máximo de códigos disponibles, según servicio.....	68
Tabla 3.16: Máximo de códigos disponibles en la hora cargada, según servicio.....	69
Tabla 3.17: Potencia de piloto y valores típicos de $E_c / I_0$ .....	71
Tabla 3.18: Especificaciones técnicas PasoLink Mx.....	72

Tabla 3.19: Canalización de frecuencias para los enlaces microondas.....	74
Tabla 3.20: Potencia de recepción del enlace de retorno.....	77
Tabla 3.21: Parámetros introducidos en la simulación.....	78
Tabla 3.22: Cuadro comparativo entre diversos fabricantes.....	80
Tabla 4.1: Inversión de Capital inicial.....	82
Tabla 4.2: Costo de Operación y Mantenimiento.....	84
Tabla 4.3: Ingresos brutos anuales.....	85
Tabla 4.4: CAPEX para la segunda fase del proyecto.....	85
Tabla 4.5: OPEX total para la segunda etapa del proyecto.....	86
Tabla 4.6: Beneficio neto del proyecto.....	86
Tabla 4.7: Valor Actual y Acumulado del proyecto.....	86
Tabla 4.8: Recuperación Real de la Inversión.....	88



## Introducción

El área de las comunicaciones móviles junto con Internet, son las de mayor crecimiento dentro de las telecomunicaciones hoy en día. En todo el mundo existen miles de millones de usuarios que utilizan el teléfono móvil para comunicarse y como medio de acceso a la red.

Esta es una tendencia global, teniendo en cuenta que el número de móviles con capacidad multimedia y de navegación será muy superior al de ordenadores personales, superando incluso a las líneas de telefonía fija que existen en la actualidad.

La explicación de este crecimiento en el mercado se encuentra en el rápido avance de las tecnologías como FDMA, TDMA y CDMA y estándares como GSM, EDGE, CDMA 2000, 1x EV-DO, UMTS que en varias ocasiones coexisten, resultando un complicado funcionamiento y además de costosa implementación. Es así que se llega al desarrollo de una nueva tecnología perteneciente a los móviles de tercera generación (3G).

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar el diseño de una red de tercera generación con tecnología WCDMA en la ciudad de Tacna para lo cual se utilizará el estándar UMTS Release 99 aprobado por la IMT-2000.

Cabe mencionar la importancia de una red de este tipo para la ciudad de Tacna. Pues es uno de los departamentos de mayor crecimiento tanto económico como tecnológico. Más adelante veremos como este presenta grandes niveles de teledensidad ( $59.32\% = \frac{\text{número de terminales móviles}}{\text{cantidad total de habitantes}} \times 100\%$ ).

Además, cuenta con un público usuario joven insertado en la PEA con poder adquisitivo. Viendo así a Tacna como un público económicamente atractivo, para una red de este tipo, como lo demuestran las encuestas tomadas durante el viaje de reconocimiento de la zona.

Con dicho propósito el primer capítulo se presenta el marco teórico que es la base para la elaboración del diseño y punto principal para la comprensión de los alcances de la tecnología.

## Capítulo 1

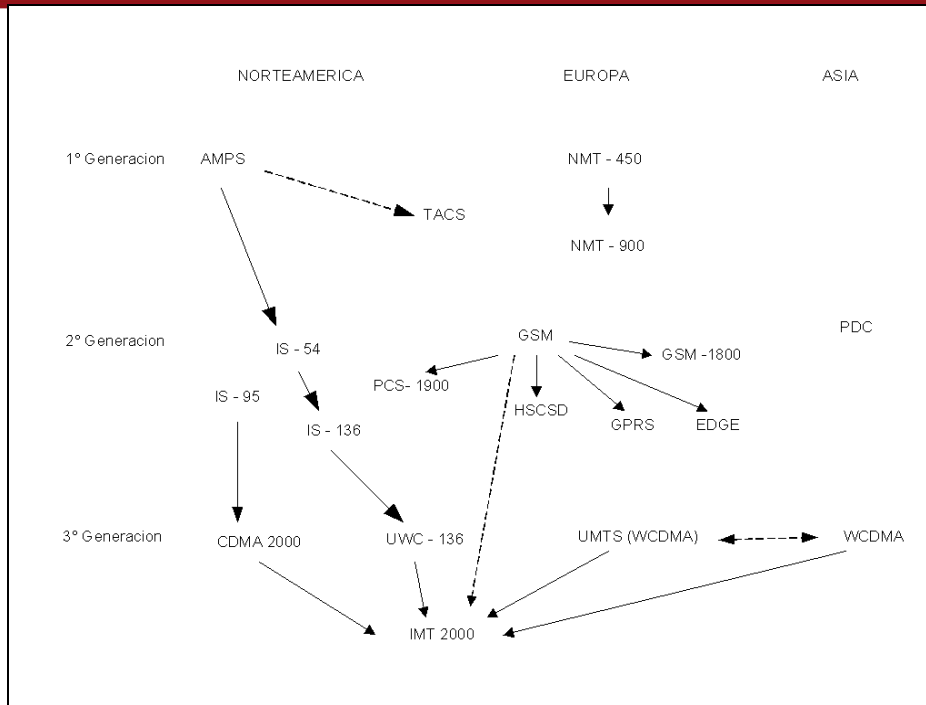
### Marco teórico

#### 1.1 La tercera Generación de la Telefonía Móvil.

Según una de las revistas especializadas, Mundo Electrónico, hace una década atrás aproximadamente se presentaba así a la telefonía móvil de Tercera Generación: "... Los futuros servicios de comunicaciones que además de voz, permitirán la transmisión de datos y video con velocidades similares a las redes cableadas... para alcanzar dicho objetivo es necesaria la obtención de sistemas de banda ancha que utilice terminales portátiles dotados de un grado de inteligencia no alcanzado hasta ahora. Estos terminales permitirán el acceso a cualquier tipo de información y obtener comunicaciones multimedia...". (p.9, Mundo Electrónico). [7]

Las tecnologías 3G son la respuesta a la especificación IMT-2000 de la UIT, la cual proporciona un marco para el acceso mundial inalámbrico ligando los sistemas diversos de redes terrestres y satelitales. Además comprende la estandarización internacional, espectro de frecuencia, especificaciones técnicas para radio y componentes de red; tarifas y facturación, asistencia técnica y estudios de aspectos en regulación y política. Según Ericsson, la empresa fabricante e impulsadora de 3G UMTS/WCDMA, CDMA2000 y EDGE, son tecnologías de tercera generación.

A continuación se mostrará una pequeña reseña de la evolución de la telefonía móvil, para tener en cuenta cuales son los avances y diferencias entre una y otra generación.[2]



Elaboración Propia

Figura 1.1: Evolución de los sistemas de Telefonía Móvil

### 1.1.1 Primera Generación

Los sistemas móviles de Primera Generación estuvieron basados en la división del área de cobertura en celdas y en la reutilización de frecuencias. Estos primeros sistemas celulares utilizan canales de tráfico analógicos, basados en FDMA y FDD. El mejor representante es la tecnología AMPS, que comenzó a funcionar en Estados Unidos en 1983.

### 1.1.2 Segunda Generación

En 1989 la TIA aprobó el estándar IS-54 o D-AMPS (Digital AMPS), basado en tecnología digital con acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA). En 1993 se aprobó el IS-95 como segundo estándar norteamericano de comunicaciones móviles digitales. El IS-95, o cdmaOne, es el primer sistema móvil celular basado en CDMA. La forma de ensanchamiento empleada es la de secuencia directa (DS). El sistema comenzó a funcionar en 1995, extendiéndose posteriormente a otros países, principalmente de América y Asia.

En Europa la Segunda Generación está representada por el sistema GSM, que desde su puesta en funcionamiento en 1992 se ha extendido por todo el mundo, en sus versiones de 900, 1800 y 1900 MHz. En este sistema, basado en FDMA y TDMA, existe la posibilidad de utilizar técnicas de salto en frecuencia. Esta característica en la



forma en que se utiliza en GSM, más que como un método de acceso debe entenderse como una mejora del sistema, que permite incrementar la calidad de recepción (la utilización de saltos de frecuencia se asemeja al empleo de técnicas de diversidad en frecuencia) o la capacidad (mediante factores de reutilización más bajos).

### 1.1.3 Tercera Generación

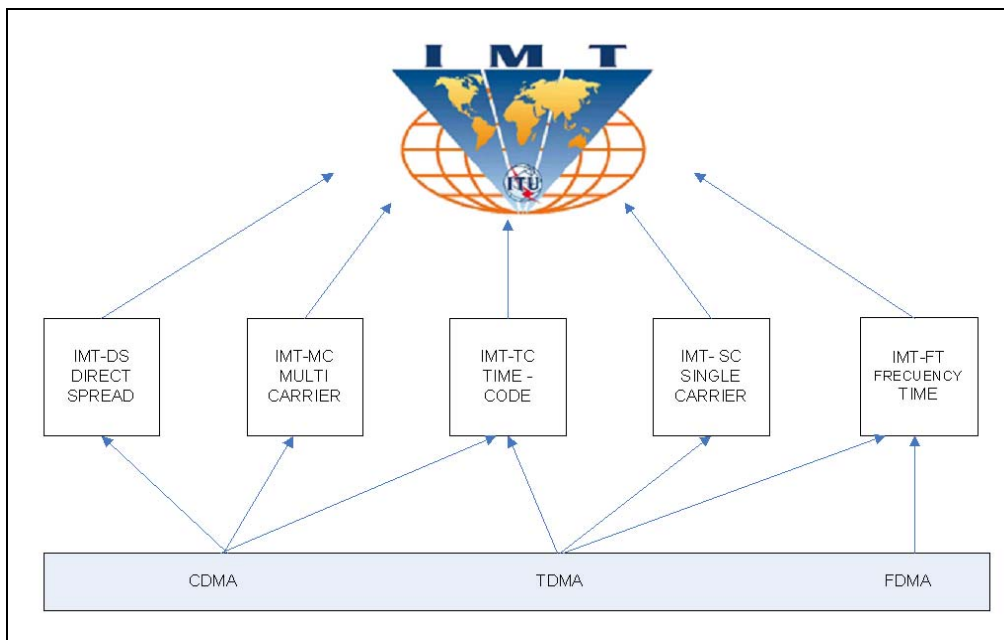
Surge el nuevo concepto de comunicaciones personales (PCS), el cual tiene como características: alta capacidad y variedad de servicios. Estableciendo como objetivo la posibilidad de realizar cualquier tipo de comunicación (voz, datos, multimedia) con cualquier persona, desde cualquier lugar y en cualquier momento.

Los objetivos básicos de los sistemas móviles de Tercera Generación ( WCDMA Release 99 ) son los siguientes:

- ◆ Cobertura mundial, con movilidad personal y roaming global.
- ◆ Gran capacidad, asociada a una elevada eficiencia espectral, que permita satisfacer las necesidades de un número creciente de usuarios.
- ◆ Flexibilidad y variedad de servicios. Los sistemas 3G se caracterizan por una diversidad de servicios con diferentes requisitos en cuanto a tasa de errores, velocidad binaria y retardo de transmisión, para cubrir las necesidades del usuario.
- ◆ Velocidades binarias mayores que las sustentadas por los sistemas móviles actuales. Se han establecido como objetivo los siguientes valores máximos:
  - 144 kbps en entornos rurales;
  - 384 kbps en entornos urbanos y suburbanos;
  - 2 Mbps en entornos interiores y urbanos con movilidad reducida.
- ◆ Compatibilidad con otros sistemas, para permitir la interconexión de usuarios de diferentes redes.
- ◆ Estructura modular y arquitectura abierta, para facilitar la introducción de nuevas características y aplicaciones.
- ◆ Flexibilidad de operación en un entorno de múltiples operadores.
- ◆ Seguridad de acceso y confidencialidad.

Con estas características la red proporcionará al usuario flexibilidad así como una mayor capacidad de transmisión y cobertura.

La UIT definió en el año 2000 las características básicas de las interfaces radio para IMT-2000 en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones del mismo año e identificó nuevas bandas de frecuencias para las componentes terrestre y satelital [1]. Finalmente, se llegó a la especificación detallada de los cinco modos definitivos para la interfaz radio de IMT-2000:



Fuente: IMT-2000: La tercera Generación de Telefonía Móvil

Figura 1.2: Estándares para la interfaz terrestre. Recomendación UIT-R M 1457 mayo 2000

- ✓ IMT-2000 CDMA *Direct Spread*: interfaz radio WCDMA de UMTS en modo FDD.
- ✓ IMT-2000 CDMA *Multi-Carrier*: modo MC de cdma2000.
- ✓ IMT-2000 CDMA TDD: modo TDD de UMTS y sistema TD-SCDMA.
- ✓ IMT-2000 TDMA *Single-Carrier*: sistema UWC-136, con características comunes al modo de transmisión por paquetes GPRS (*General Packet Radio System*) de GSM y a EDGE.
- ✓ IMT-2000 FDMA/TDMA: sistema DECT.

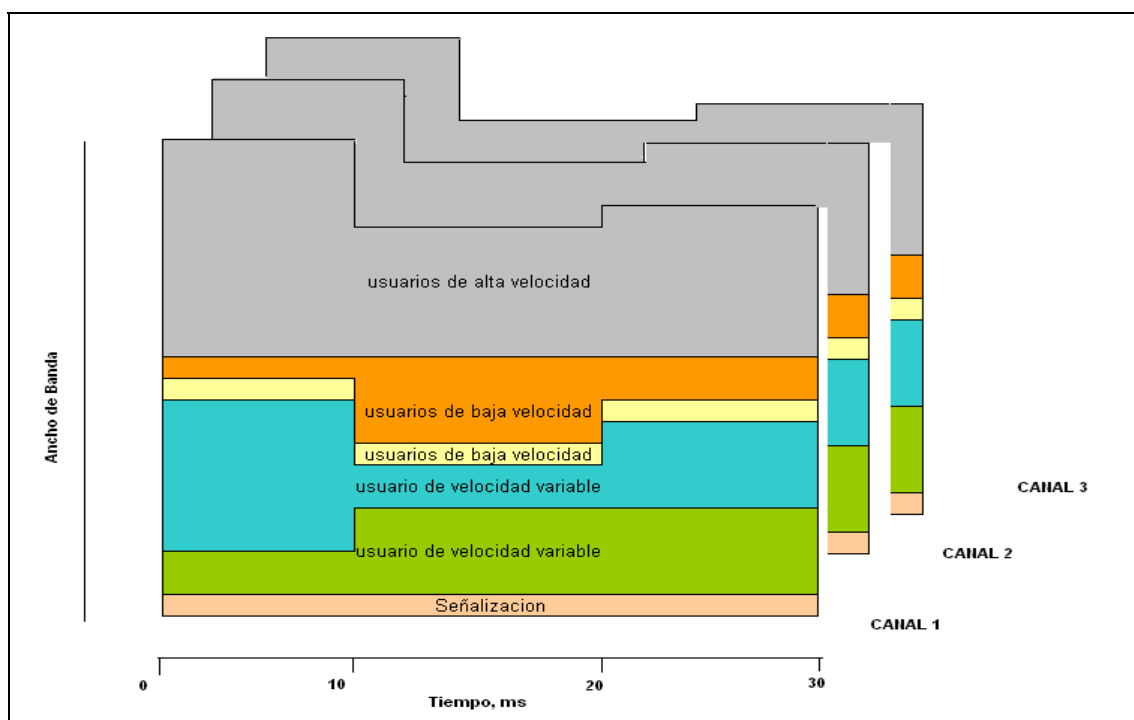
IMT-2000 actualmente es sinónimo de tercera generación, pues constituye un estándar internacional para el despliegue de estos sistemas. En la presente tesis se enfatizará sobre el primer modo de interfaz de radio CDMA.



## 1.2 Tecnología WCDMA

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

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



Elaboración Propia

Figura 1.3: Asignación del ancho de banda en WCDMA

### 1.2.1 Principales características técnicas

- WCDMA deriva de CDMA espectro ensanchado, que soporta elevadas tasas de transmisión, en consecuencia utilizan un factor de ensanchamiento y conexiones multi-código.
- El sistema DS-CDMA con ancho de banda aproximado de 1MHz, como en IS-95, se refiere al sistema CDMA de banda angosta. El *chip rate* de 3.84 Mcps, permite aproximarse a un ancho de banda de 5MHz.

- c. WCDMA soporta alta variación de las velocidades de transferencia de datos (*user data rate*), en otras palabras soporta la obtención de ancho de banda por demanda. Cada usuario tiene asignado tramas de 10ms, donde el *user data rate* se mantiene constante. Sin embargo, la capacidad requerida por el usuario puede variar de trama a trama. Un claro ejemplo se puede observar en la figura 1.3.
- d. Modos de operación:
  - FDD, portadoras separadas de 5 MHz. Una es usada para el enlace de subida (*uplink*) y la otra para el enlace de bajada (*downlink*).
  - Mientras que TDD solo utiliza una portadora de 5MHz la cual comparte los time slots para el tráfico *uplink* y *downlink*.
- e. No es necesaria la sincronización de la estación base a través del sistema de posicionamiento global (GPS), esto implica mayor número de tramas de señalización y control.
- f. Para aumentar la capacidad y la cobertura de la red es posible el uso de antenas inteligentes (MIMO) y detección multiusuario (*beamforming*).
- g. WCDMA se diseñó para trabajar junto a GSM, entonces los *hand-over* entre WCDMA y GSM son aceptados, para que la introducción de esta nueva tecnología sea evolutiva.

La tabla 1.1 resume las principales características de la tecnología WCDMA. [2]

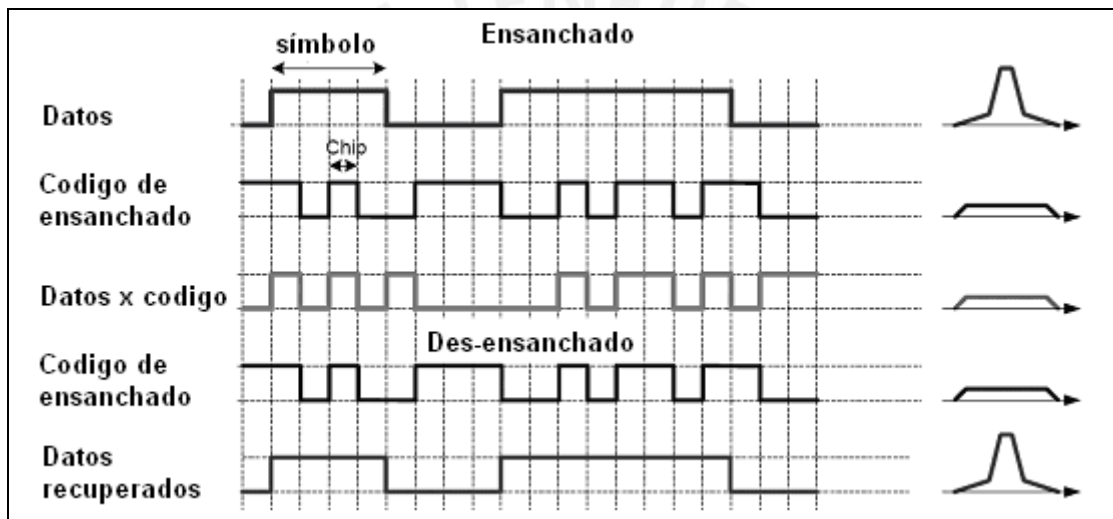
Tabla 1.1: Principales parámetros de WCDMA

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

## 1.2.2 Conceptos Básicos

### 1.2.2.1 Ensanchado y Des-ensanchado (*Spreading and Despreading*)

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



Fuente: WCDMA FOR UMTS<sub>[2]</sub>

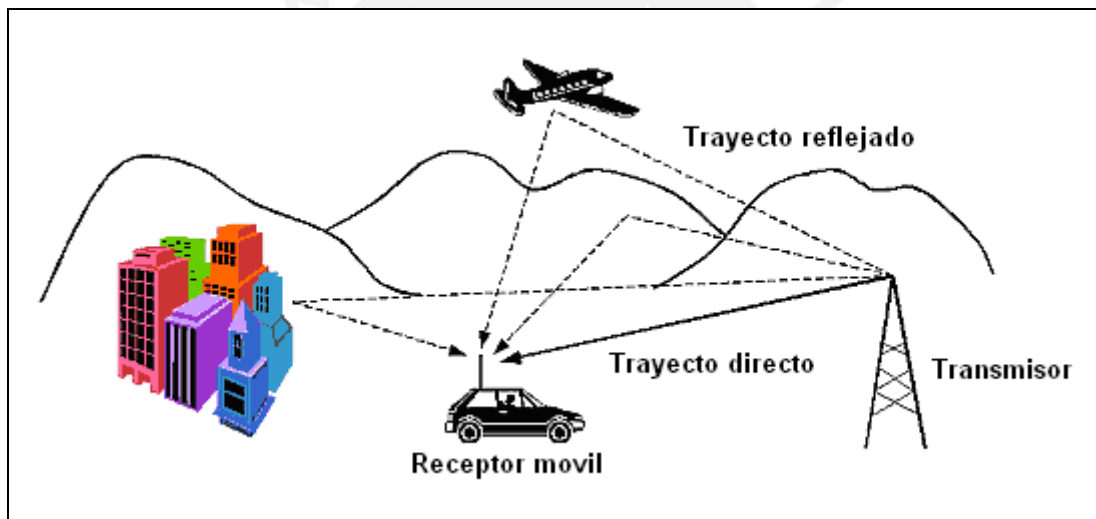
Figura 1.4: Ensanchado y Des-ensanchado de la señal

Una señal de espectro ensanchado en secuencia directa (SS/DS-CDMA) se obtiene modulando la señal a transmitir con una señal pseudo-aleatoria de banda ancha (código de pseudo-ruido). Un código de pseudoruido es una secuencia binaria representada con valores -1 y 1, que posee propiedades similares a las del ruido. Esto determina valores pequeños de correlación entre los códigos y la dificultad de bloqueo o detección de una señal de información por un usuario no deseado. En la figura 1.4 se aprecia con la multiplicación de la señal de datos con el código de ensanchamiento da como resultado una señal con gran ancho de banda.

### 1.2.2.2 Multi-caminos y recepción RAKE

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

- a) Retardo de la señal, entre 1 y 2 us. En zonas urbanas y sub-urbanas, mientras que en otros casos hay retardos hasta 20us o más. La duración del chip de 3.84 Mcps es 0.26us. Si el tiempo de la componente *multipath* es menor a 0.26us., entonces el receptor WCDMA puede separar los componentes multi-camino. En la figura 1.5 se puede apreciar como a la señal directa se “suman” las señales *multipath*.



Fuente: Revista científica de la IEEE – SPECTRUM<sup>[12]</sup>

Figura 1.5: Efecto de Multi-caminos

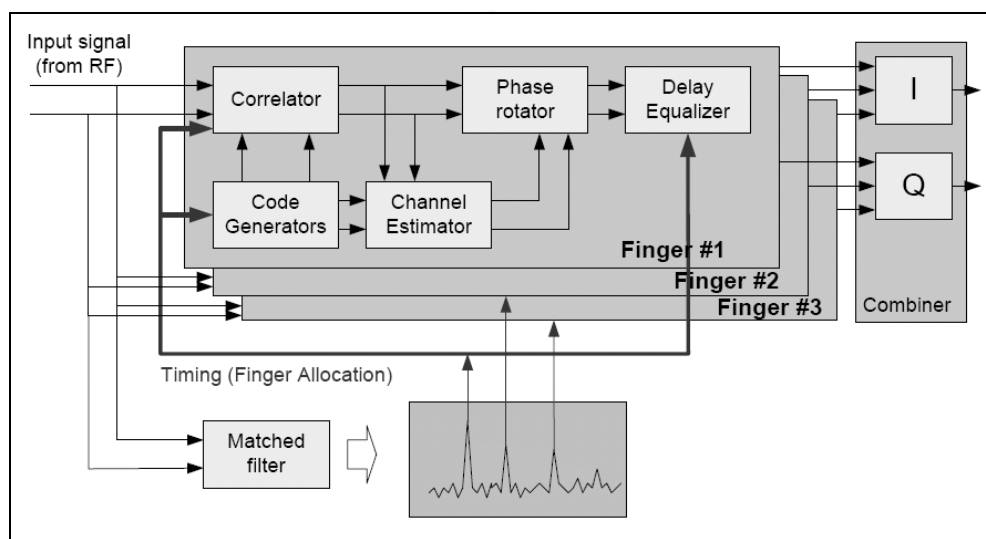
- b) Además, el efecto *multipath* genera un desfase en la señal recibida, la cual puede hasta cancelar la señal directa, este efecto recibe el nombre de desvanecimiento rápido que se da incluso en distancias cortas.

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

sucede en comunicaciones móviles, los coeficientes del receptor deben adaptarse a sus variaciones.

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

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



Fuente: WCDMA FOR UMTS<sup>[2]</sup>

Figura 1.6: Diagrama de bloques de un receptor RAKE para CDMA

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

El segundo enfoque considera la superposición de todas las componentes *multipath* como una señal deseada, y el receptor *Rake* se comporta como un filtro adaptado a esta señal total, lo cual constituye la forma óptima de detección. Suponiendo un canal

con dispersión temporal sin correlación, la potencia de la señal total es igual a la suma de las potencias individuales de las componentes. Por tanto, según este enfoque se suman las potencias de las componentes *multipath* detectadas, sin considerar ninguna de ellas como interferencia.

En la práctica ambos métodos pueden considerarse equivalentes.

### 1.2.2.3 Control de potencia

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

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

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

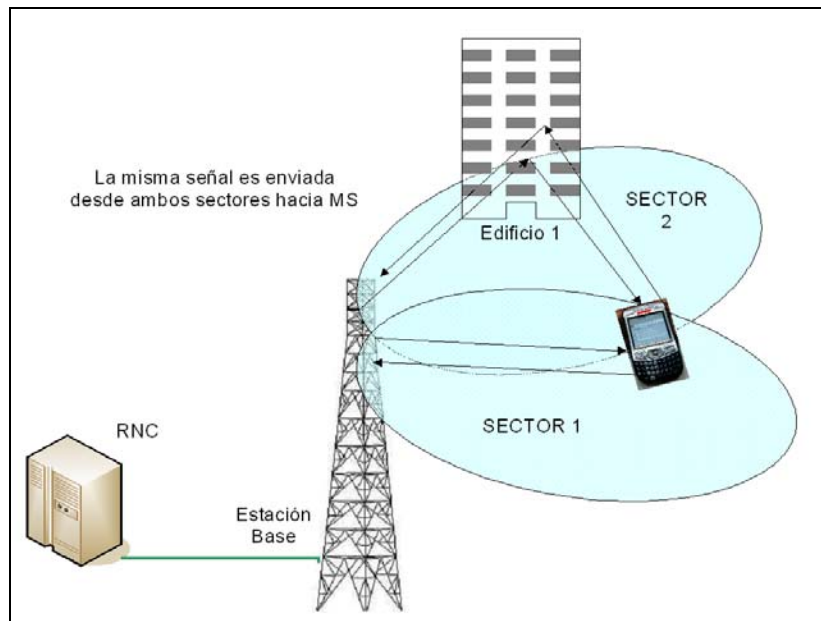
En una situación como la del *downlink*, debido a las diferentes pérdidas en el trayecto de cada estación móvil, la estación base transmite las señales de diferentes usuarios con diferentes niveles de potencia. Con un perfecto control de potencia, las señales llegarían a cada usuario con la potencia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

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



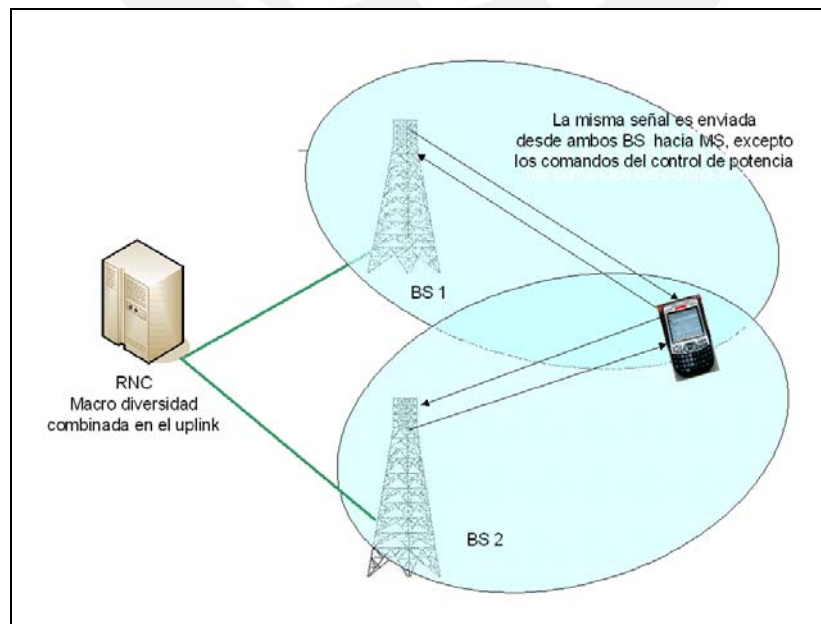
### 1.2.2.4 Softer y Soft Hand-overs

Durante un *softer hand-over*, una estación móvil está entre el área de cobertura donde dos sectores que pertenecen a la misma estación base se solapan. La comunicación se realiza mediante dos canales, uno en cada sector. Para esto se requiere de códigos separados en dirección del *downlink* para que la estación móvil pueda distinguir las señales, esto requiere un proceso de *Rake*. Durante el *softer hand-over* solo un lazo de control de potencia por conexión esta activo. Normalmente este efecto ocurre entre el 5 al 15 % de las conexiones. (Figura 1.7)



Elaboración propia

Figura 1.7: Softer Hand-over



Elaboración propia

Figura 1.8: Soft hand-over

Un escenario similar se presenta durante un *soft hand-over*, cuando una estación móvil se encuentra entre el área de cobertura de sectores que se solapan pero estos sectores pertenecen a diferentes estaciones base. Aquí se generan dos lazos de control de potencia una para cada estación. (Figura 1.8)

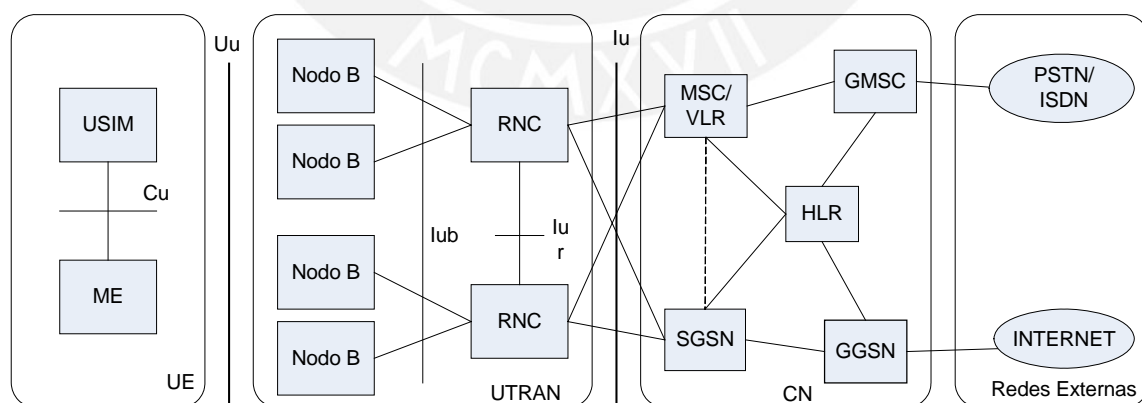
Si no se pudiera lidiar con el *soft/softer hand-over* se podrían crear escenarios cercanos.

WCDMA proporciona otros tipos de *hand-over* como:

- *Hard hand-over* entre frecuencias, una aplicación para ello es la alta capacidad de las estaciones base con algunas portadoras.
- *Hard hand-over* entre sistemas, que permite la convergencia entre WCDMA FDD y TDD o GSM u otro sistema.

### 1.2.3 Estructura de la red.

Funcionalmente los elementos de la red están agrupados dentro de la Red de Acceso de Radio (RAN, UMTS *Terrestrial* RAN = UTRAN) y el Núcleo de la Red (CN), que es responsable por la conmutación y el enrutamiento de llamadas y conexiones de datos hacia las redes externas. En la figura 1.9 ilustra como opera típicamente una PLMN con un solo operador conectado a otras redes.



Elaboración Propia

Figura 1.9: Elementos de una red Pública Móvil



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

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

### 1.2.3.1 UTRAN

La UTRAN o Red de Acceso de Radio Terrestre para UMTS consiste en la suma de todos los RNC y Nodos B que contenga la red, los RNC están conectados entre sí vía la interfaz Iur. La conexión entre la RNC y el Nodo B es vía la interfaz Iub.

El mayor requerimiento debe ser el soporte de *soft handover* y los algoritmos de gestión de los recursos de radio. La UTRAN establece un enlace entre el equipo de usuario y el núcleo de la red con unos requisitos de calidad, Servicio de portadoras de radio (RAB).

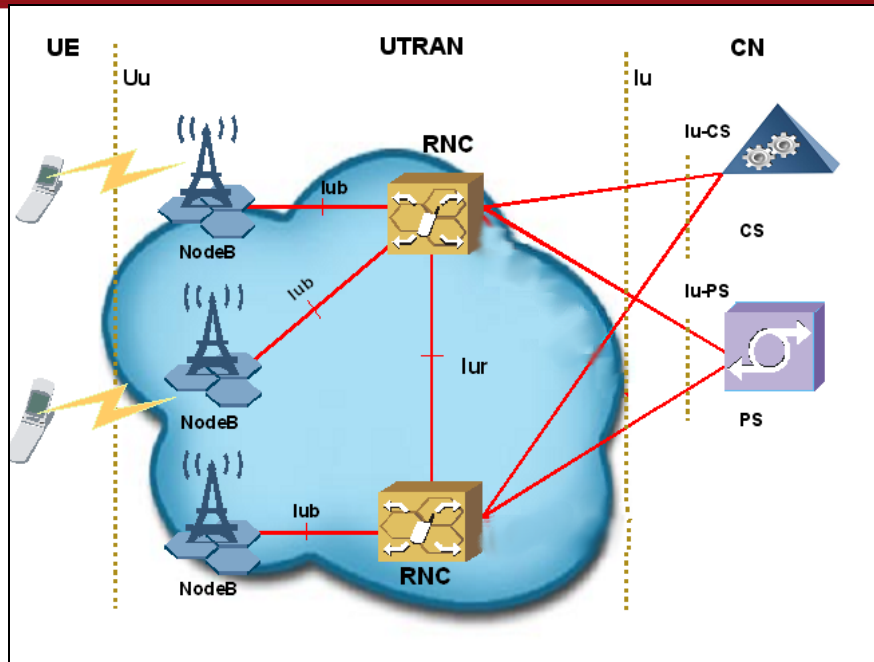
#### 1.2.3.1.1 RNC – Controlador de Radio de la red

Es el elemento de red responsable del control de los recursos de radio de la UTRAN. En GSM corresponde lógicamente al BSC. El controlador RNC es responsable del control de la carga y congestión de una o más celdas, también ejecuta el control de admisión y la asignación de código para un nuevo radio enlace que se establezca en la celda.

La RNC es el punto de acceso de servicio para todos los servicios de la UTRAN que provee el núcleo de la red, por ejemplo la gestión de conexiones hacia el UE.

#### 1.2.3.1.2 Nodo B

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



Fuente: Huawei Technologies

Figura 1.10: Topología de una red WCDMA

### 1.2.3.1.3 Interfaces y elementos del Núcleo de Red

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

La interfaz Iu conecta la UTRAN con el Núcleo, es una interfaz abierta. Como se muestra en la figura 1.10 dicha interfaz puede ser Iu-CS que conecta la UTRAN con el conmutador de circuitos o puede ser Iu-PS que conecta la UTRAN con el conmutador de paquetes.

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

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

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

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

- HLR: Es la base de datos local del sistema, aquí se guarda una copia del perfil de servicio del usuario que consiste de información sobre servicios permitidos, áreas de *roaming*, y servicio suplementarios.
- MSC/VLR: Son el conmutador y la base de datos de visitante, respectivamente. El MSC tiene como función la conmutación de las transacciones CS, la función del VLR es mantener una copia de su perfil de servicios del usuario visitante.
- GMSC, *Gateway MSC*, es la conmutación del punto donde UMTS PLMN es conectado hacia una red externa CS.
- SGSN, su funcionalidad es similar al MSC/VLR pero es típicamente utilizado para servicio de conmutación de paquetes (PS).
- GGSN, al igual que GMSC sirve de punto de conexión con redes externas pero en este caso con relación al servicio de conmutación de paquetes.

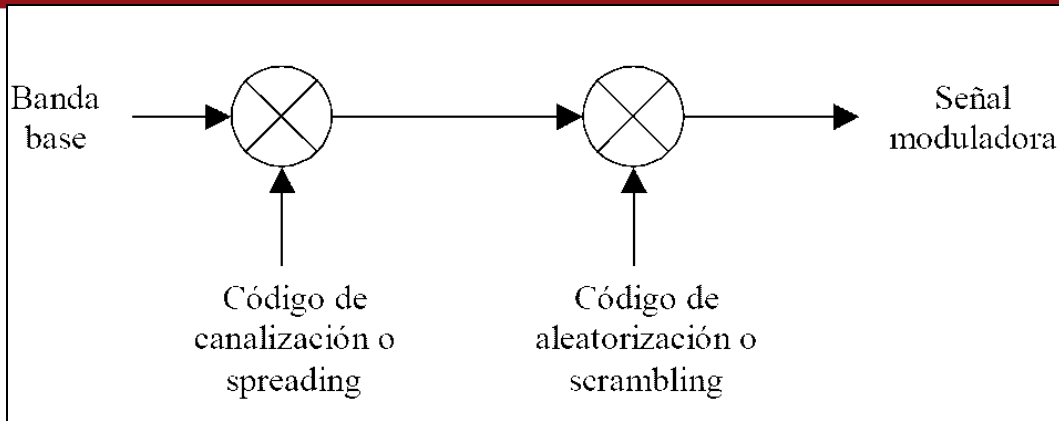
#### 1.2.4 Capa física.

La capa física tiene un mayor impacto en la complejidad de equipamiento con respecto al requerimiento de la potencia de procesamiento de banda en la estación terminal y en la estación base. Sus funciones son codificación de la información y detección de errores, ensanchamiento de espectro y modulación medición de los parámetros de radio y control de potencia.

##### 1.2.4.1 Ensanchamiento y modulación

El ensanchamiento se lleva a cabo en dos etapas, lo cual permite, ortogonalizar los canales transmitidos por una misma estación base (*downlink*) o móvil (*uplink*), manteniendo el comportamiento pseudo-aleatorio entre señales transmitidas por estaciones diferentes.

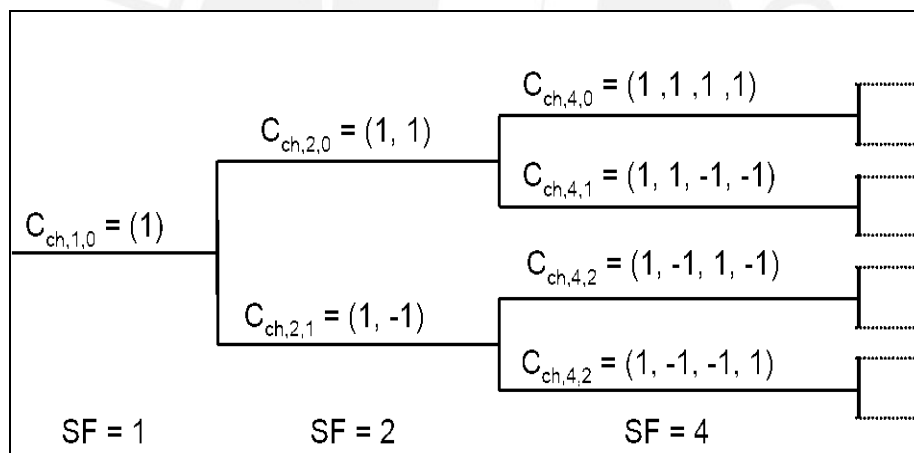
Como códigos de canalización se utilizan secuencias ortogonales de factor de ensanchamiento variable (OVSF) entre 4 y 256 para el *downlink*, y entre 4 y 512 para el *uplink*. Estas secuencias permiten utilizar canales con velocidades binarias diferentes manteniendo la ortogonalidad entre ellos. El número máximo de secuencias ortogonales no es fijo, sino que depende del conjunto de factores de ensanchamiento utilizados.



Fuente: OCW - UPM

Figura 1.11: Relación entre Canalización y Aleatorización

El uso del código OVVSF permite que el factor de ensanchamiento pueda variar y la ortogonalidad entre diferentes códigos de diferentes longitudes se mantenga. Los códigos son generados mediante una estructura de árbol como se muestra en la figura 1.12. Esto quiere decir que diferentes terminales y diferentes estaciones base pueden operar con sus códigos independientemente entre ellos.



Fuente: OCW - UPM

Figura 1.12: Generación de los códigos Ortogonales mediante las estructuras de árbol.

En la segunda etapa se aplica una misma secuencia de aleatorización a los canales transmitidos por la misma estación, siendo las secuencias distintas para estaciones bases o móviles diferentes. En el *downlink*, los códigos de aleatorización son secuencias pseudoaleatorias de 10ms. Las secuencias se dividen en varios grupos para facilitar la sincronización y búsqueda de celda en el terminal móvil. En el *uplink* pueden utilizarse como secuencias de aleatorización códigos “largos”, similares a los del *downlink*, o códigos “cortos”, más adecuados para el uso de detección multiusuario en la estación base.

El proceso de ensanchamiento y modulación combina QPSK y BPSK, los códigos de aleatorización en los dos enlaces son secuencias complejas, mientras que los de canalización son reales. La señal final ensanchada se modula en QPSK con conformación espectral de tipo coseno alzado. En UMTS se utilizan para la canalización códigos de OVSF y la aleatorización códigos de *Gold*.

#### 1.2.4.2 Canales de transporte y físicos

Los Canales de transporte son servicios ofrecidos desde las capas básicas hasta las capas mayores los canales son definidos por el tipo de data que transportan. Existen dos tipos de canales de transporte [2]:

- a. Canales Dedicados (DCH), se caracterizan por el uso de un solo terminal. Estos canales son usados como canales *uplink* y *downlink*. DCH transmite a toda la celda o parte de ella, mediante antenas inteligentes o de formadores de haz.
- b. Canales Comunes o Compartidos (CCH), solo se utiliza la dirección del terminal si es necesario, existen 7 canales de este tipo que se pasan a detallar en la tabla 2.

Tabla 1.2: Canales de Transporte Común

<i>Broadcast Channel</i> (BCH)	Canal que transporta el <i>downlink</i> , es usado para sistemas de difusión e información específica de la celda. Este canal siempre transmite a toda la celda con una tasa de transmisión fija y pequeña.
<i>Forward Access Channel</i> (FACH)	Canal que transporta el <i>downlink</i> . Este canal solo transmite sobre una parte de la celda, usando antenas inteligentes, además de un control de potencia lento.
<i>Paging Channel</i> (PCH)	Canal que transporta el <i>downlink</i> . Siempre transmite sobre la celda entera, usada cuando una BS quiere iniciar una comunicación con un terminal.
<i>Random Access Channel</i> (RACH)	Canal que transporta el <i>uplink</i> . Toda la celda recibe el canal pero tiene un riesgo de colisión. Lleva información desde el terminal.
<i>Common Packet Channel</i> (CPCH)	Canal que transporta el <i>uplink</i> . Es una extensión del canal RACH que lleva los paquetes de datos del usuario en dirección <i>uplink</i> .
<i>Downlink shared Channel</i> (DSCH)	Canal compartido que transporta el <i>downlink</i> para varias estaciones móviles

A diferencia de los canales de transporte, los canales físicos son mapeados según se muestra en la tabla 3.

Tabla 1.3: Mapeo de Canales de Transporte en los Canales Físicos

Canales de transporte	Canales Físicos
BCH	Canal Físico de Control Común Primario (PCCPCH)
FACH	Canal Físico de Control Común Secundario (SCCPCH)
PCH	
DCH	Canal Físico de Datos dedicado (DPDCH)
	Canal Físico de Control dedicado (DPCCH)
RACH	Canal Físico de Acceso Aleatorio (PRACH)
DSCH	Canal Físico de <i>Downlink</i> Compartido (DPSCH)
CPCH	Canal Físico Común de Paquetes (PCPCH)
	Canal de Sincronización (SCH)
	Canal Común Piloto (CPICH)
	Canal Indicador de Adquisición (AICH)
	Canal Indicador de <i>Paging</i> (PICH)
	Canal Indicador del Estado CPCH (CSICH)
	Canal Indicador de Detección de Colisión/ Asignación de Canal (CD/CA-ICH)

Los canales físicos se caracterizan a sí mismos por la frecuencia de la portadora, los códigos de canalización y aleatorización, la fase en el enlace *uplink*, el tiempo de transmisión.

### 1.3 El Estándar Europeo – UMTS

En Europa y algunas partes del mundo la Tercera Generación está representada por el sistema UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). Cuyo objetivo es unificar los distintos sistemas de telefonía móvil empleados en todo el mundo.

Esta sistema se basa en extender las actuales tecnologías móviles, inalámbricas y satelitales proporcionando mayor capacidad, posibilidades de transmisión de datos y



una gama de servicios mucho más extensa, usando la tecnología WCDMA como acceso al medio radioeléctrico y una topología de red mejorada.

Permite integrar todos los servicios ofrecidos por las distintas tecnologías y redes actuales (GSM, DECT, RDSI, Internet, etc.) y se puede utilizar con casi cualquier tipo de terminal (teléfono fijo, inalámbrico, celular, terminal multimedia...), tanto en ambientes empresariales como domésticos, ofreciendo una mayor calidad de los servicios y soportando la personalización por parte del usuario y los servicios multimedia móviles en tiempo real [4] [5].



## **Capítulo 2**

### ***Viaje de Reconocimiento de la Zona***

#### **2.1 Introducción**

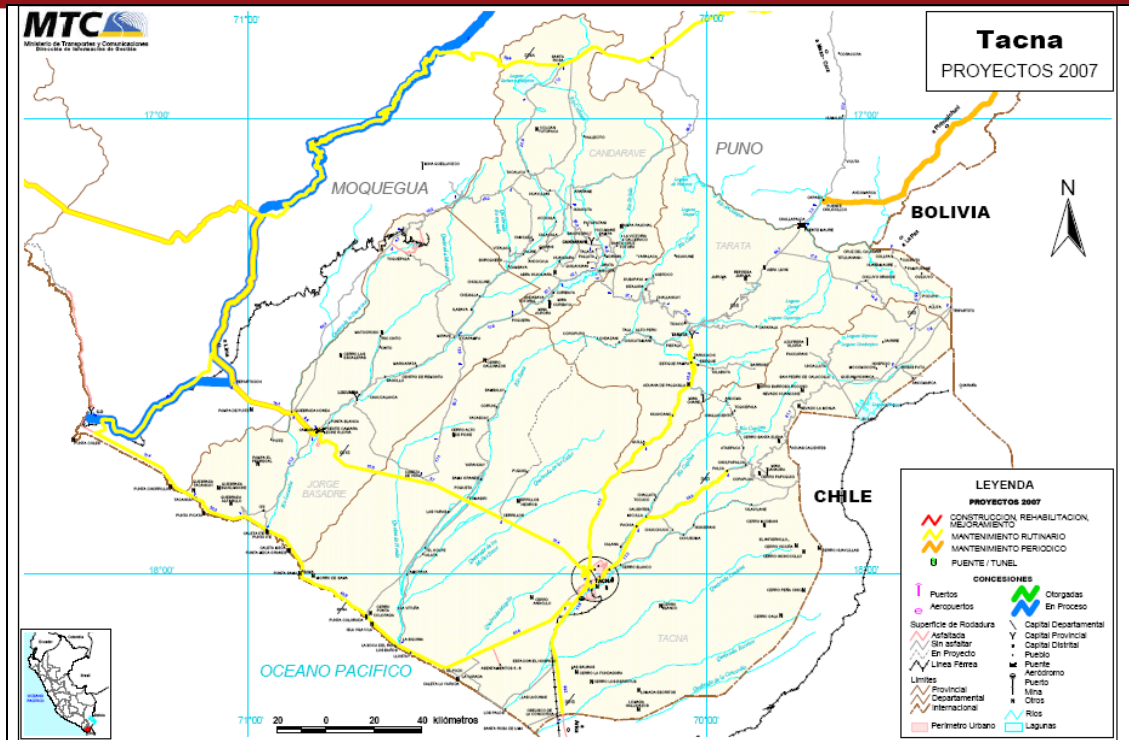
El día 13 de agosto de 2007, se realizó un viaje durante una semana a la ciudad de Tacna, con el fin de obtener información actualizada de la zona, así como verificación física de datos obtenidos desde la capital. (Anexo B).

Empezaremos definiendo a gran escala los datos del Departamento de Tacna el cual posee una superficie de 16,075.73 Km<sup>2</sup>, siendo el 68% de su territorio costa y 32% sierra. Tiene como capital la ciudad de Tacna.

Su división política comprende cuatro provincias: Tacna, Candarave, Jorge Basadre y Tarata y un total de 27 distritos. Temperatura Promedio Anual es de 18,6° C (máxima de 28° C y mínima de 6° C) y la temporada de lloviznas de mayo a agosto. [21]

Nuestro estudio se basará en la ciudad de Tacna por lo cual se pasará a describir un poco más de la ciudad.





Fuente: MTC

Figura 2.1: Departamento de Tacna

## 2.2 Información socio-económica de la ciudad de Tacna

La ciudad de Tacna se encuentra a 562 m.s.n.m. de altitud, está ubicada en el extremo sur del Perú (Latitud 18° 00' 21" - Longitud 70° 15' 00") a 1 348 Km. de Lima, limita con Chile y Bolivia. Cuenta con una población de 97 247 habitantes. [Censo 2005]

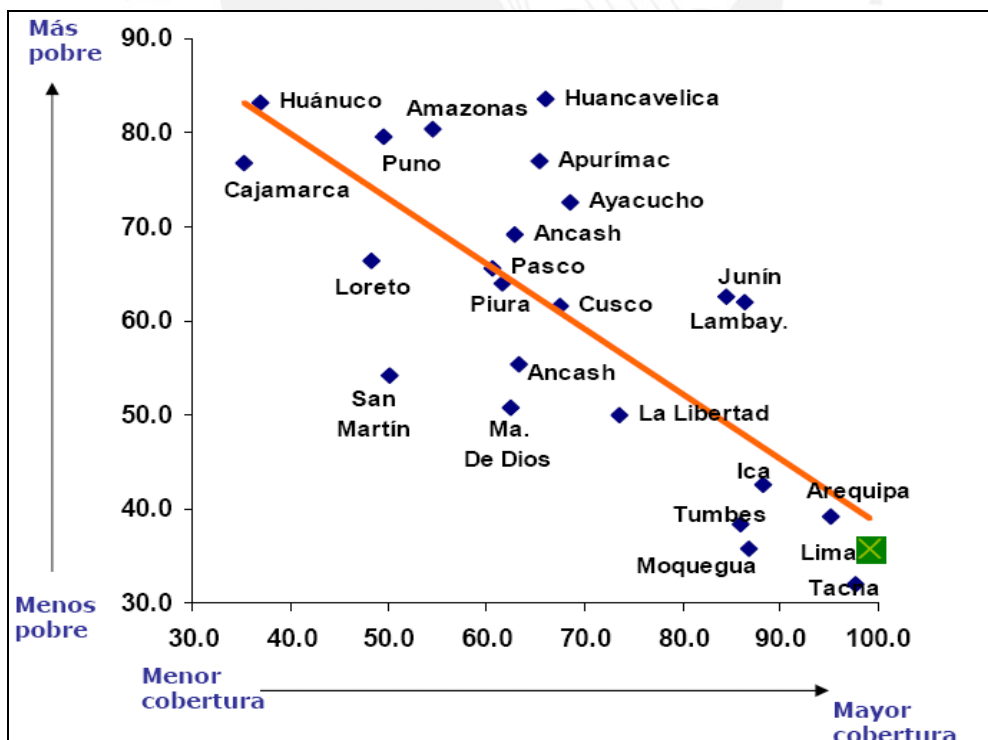
Entre sus principales actividades económicas se encuentran la agricultura, la pesca, la minería, el turismo y el comercio. Produce el 53,15% de las aceitunas del país. También maíz amiláceo, papa, trigo, orégano, vid (se industrializa pisco, vino), alfalfa. Destaca su ganadería lechera y los ovinos. Existe una gran área de protección de vicuñas. En la minería es importante la extracción de cobre a tajo abierto en la mina de Toquepala, que se refina en Ilo para su exportación.

El desarrollo industrial en el departamento de Tacna esta orientado básicamente a la fabricación de Bienes de Consumo (67%), seguido de Bienes Intermedios (23%) y Bienes de Capital (10%). En el Parque Industrial funcionan 149 empresas, de las cuales sólo el 20% desarrolla actividades industriales (Molinera, Ladrillera, agroindustrias y procesamiento de hidro-biológicos), 11 % realiza actividades comerciales y el 69% son talleres, servicios aduaneros y otros servicios.

La Zona de Tratamiento Especial Comercial de Tacna (ZOFRATACNA) se complementa con los centros de exportación, transformación, industria, comercialización y servicios (CETICOS), para dinamizar el comercio. [20]

Tacna es la segunda puerta de entrada de visitantes extranjeros a nivel nacional, existiendo el potencial para aprovechar el gran flujo de visitantes y turistas, si se logra diversificar e incrementar la oferta de atractivos turísticos y extenderse el tiempo de permanencia, *vinculado al sector comercio que es el foco de atracción.*[17]

Siendo uno de los mejores departamentos a nivel socio-económico después de Lima, según estadísticas del IPE (Instituto Peruano de Economía) como se logra ver en la figura 2.2 cuenta con un 97.6% de cobertura de electricidad, tan solo por debajo de Lima, 99.2%. Así también del grafico se puede rescatar, las cinco regiones de menor pobreza total en el Perú son: Moquegua (29,6%), Tacna (32,8%), Lima y Callao (33,4%), Madre de Dios (36,7%) e Ica (41,7%). Las cinco regiones de menor pobreza extrema en el Perú son: Lima y Callao (3,1%), Tacna (5,2%), Tumbes (7,4%), Moquegua (7,6%) e Ica (8,6%). [Año 2004]



Fuente: IPE

Figura 2.2: Cobertura de electricidad y pobreza 2004 (en % de la población)





Fuente: *GoogleEarth*

Figura 2.3: Vista satelital de la ciudad de Tacna



Elaboración Propia

Figura 2.4: Vista panorámica de la ciudad de Tacna – Agosto 2007

La expansión de la ciudad es de 2 407.2 Km<sup>2</sup> en su mayoría poblada por edificaciones de 3 o 4 pisos de alto en el centro de la ciudad y en las zonas comerciales, en las zonas residenciales las edificaciones son de 2 o 3 pisos.

El diseño de la red de acceso se basará, en su primera fase, en el sector comercial/empresarial, para luego apuntar hacia el sector residencial.



Elaboración propia

Figura 2.5: El perímetro de la ciudad crece día a día

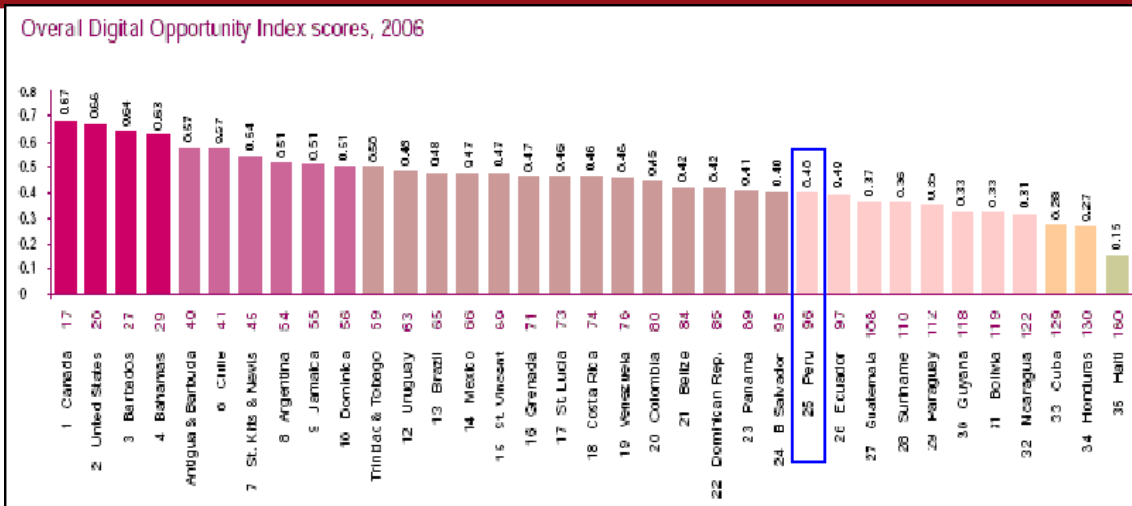
### 2.3 Situación actual de las telecomunicaciones en la ciudad de Tacna

Antes de pasar a detalle con la ciudad de Tacna, veamos como esta el Perú a gran escala en lo que respecta a telecomunicaciones.

#### 2.3.1 Datos comparativos

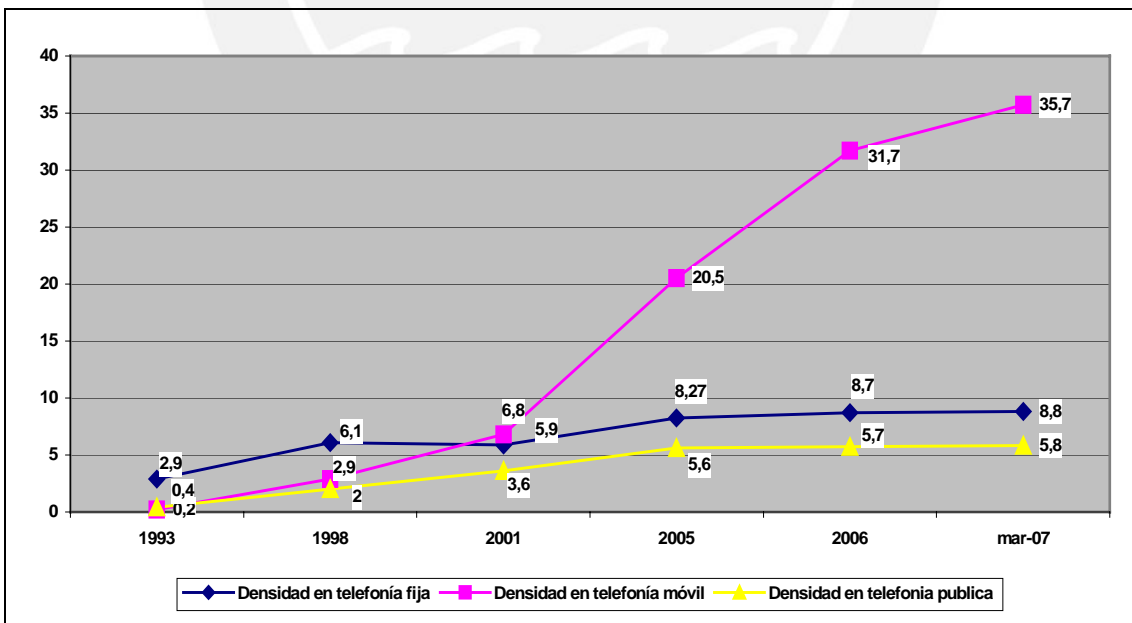
De acuerdo al Índice de Oportunidad Digital (DOI), publicado por UIT, se tiene que al 2006, Perú alcanzó un índice de 0,40, siendo superior en 42,8% al registrado en el 2001. El DOI, mide la facilidad de acceso de los ciudadanos de cada país a las tecnologías de la información y de la comunicación (TICs) para aprovechar las oportunidades de crecimiento y desarrollo que ofrecen. Con dicho índice se observa que Perú ocupa el puesto 96 sobre 181 países del ranking mundial. Este indicador muestra el estado actual de los países tomando en cuenta tres características: oportunidad, infraestructura y uso, Perú logra en cada uno de estos rubros valores de 0,82; 0,12 y 0,27 respectivamente. Resulta importante destacar que en las características oportunidad y uso se logra valores por encima del promedio mundial. [28]





Fuente: ITU/UNCTAD/KADO Digital Opportunity Platform  
 Figura 2.6: El Perú en cifras internacionales

Comparando la situación actual de los servicios públicos de telecomunicaciones en nuestro país, con la situación del año 1993 y la correspondiente al año 1998, podemos ver que los indicadores de densidad, en el caso de telefonía fija, han pasado de 2,94 en 1993 a 6,14 en el año en que se dio la apertura (1998) y finalmente, a 8,8 a marzo de 2007. En el caso de los servicios móviles hemos pasado de 0,16 en 1993 a 2,91 en el año 1998 para llegar ahora a 35,7 líneas por cada 100 habitantes.



Datos: MTC / Elaboración Propia  
 Figura 2.7: Evolución de la densidad de Telefonía en el Perú

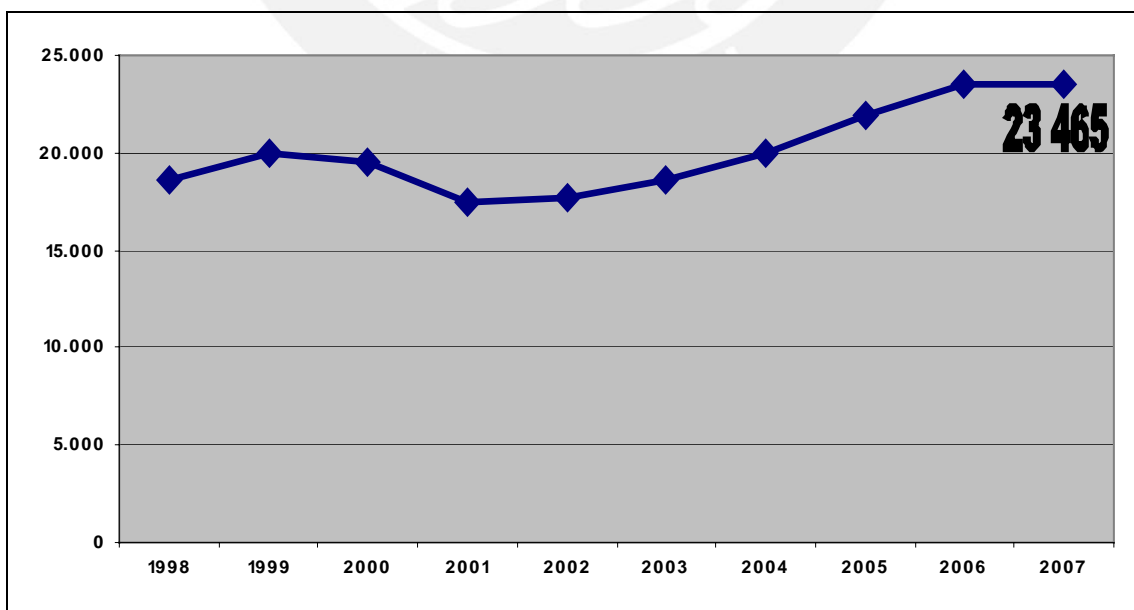
El MTC tiene como meta impulsar al Perú hacia el 2011, y se proyecta optimista pues para entonces se estima que la densidad de la telefonía fija será 12 líneas cada 100 habitantes y para la telefonía móvil 60 líneas cada 100 habitantes. Así mismo, pronostica que las conexiones de banda ancha se eleven a 1 000 000. (Actualmente ascienden a 495 052 conexiones).

Según datos obtenido por OSIPTEL, Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones en nuestro país y el Ministerio de Transporte y Comunicaciones además de los datos recopilados durante el viaje de reconocimiento de la zona, se muestran los siguientes servicios para la ciudad de Tacna.

### 2.3.2 Servicio de telefonía fija

Este servicio se encuentra a cargo de Telefónica del Perú (abonados y públicos) y de Telmex (públicos). Este último recientemente implantado en la ciudad de Tacna brinda servicios como líneas dedicadas (minerías) y telefonía pública (LDN y LDI).

El número de abonados de la multinacional Telefónica del Perú asciende a 23 465 líneas telefónicas, con una penetración de 8.5 líneas cada 100 habitantes en el departamento de Tacna a marzo del 2007, prácticamente se encuentra dentro del promedio nacional.



Datos: MTC / Elaboración Propia

Figura 2.8: Líneas de Servicio Telefonía Fija en Tacna

Indicadores del servicio de Telefonía Fija a nivel nacional

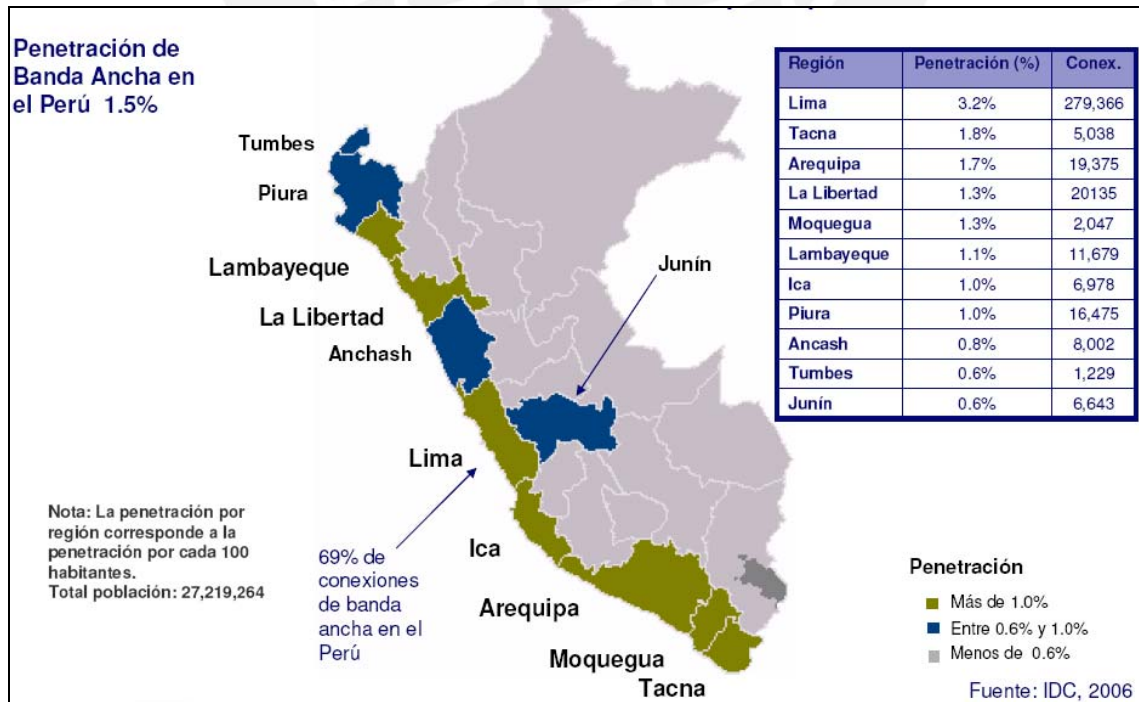
En marzo del año 2007 la densidad en telefonía fija llegó a 8,8 líneas en servicio por cada 100 habitantes, superior en 1,15% al nivel registrado en diciembre del 2006. Asimismo, como se puede apreciar en la figura 2.8 a finales del primer trimestre de 2007 el número de líneas en servicio de telefonía fija aumentó a 2 431 213.

Cabe resaltar que en el departamento de Lima, incluida la Provincia Constitucional del Callao, concentra el 64% del total nacional presentando así una tele-densidad de 17 líneas por cada 100 habitantes.

2.3.3 Servicio de Valor Añadido o de Banda Ancha

El servicio de telefonía fija sirve de base para el servicio de línea suscrita digital asíncrona (ADSL), como es de conocimiento público TdP brinda dicho servicio bajo la publicidad de *Speedy*. Sin embargo, este proveedor no es el único en la zona, se suma a este *Star Global Com* que utiliza cable coaxial para la conexión de Internet, bajo el nombre comercial de *Super Internet*. Al igual que el servicio telefónico este servicio ha crecido notoriamente. [24]

El 69% de conexiones Banda Ancha (ADSL + Inalámbrico fijo + Cable modem) se encuentran en Lima. Pero como vemos en la siguiente grafica, Tacna sigue por encima del promedio de penetración de Banda Ancha nacional (1.8%).



Fuente: IDC, 2006

Figura 2.9: Número de conexiones y penetración por departamento

El mercado experimentó un crecimiento de 8.2% en conexiones entre el período marzo 2006 y junio 2006. Continúa el segmento de Grandes Empresas con la mayor demanda de Líneas Dedicadas a Internet, mientras que el segmento Hogar representa el 89% de las conexiones ADSL, inalámbrico fijo y Cable Módem.

Tabla 2.1: Crecimiento de Conexiones a Internet

Periodo	Dic - 2005	Mar - 2006	Jun - 2006	Mar - 2007
Líneas dedicadas	3 337	3 575	3 788	--
ADSL + Cable módem + inalámbrico fijo	348 118	367 931	398 211	--
Satélite	1 167	1 314	1 530	--
TOTAL	352 622	372 821	403 529	495 052

Datos: IDC, 2006

Según IDC, en los próximos años, se espera un importante incremento del uso de las tecnologías inalámbricas (WLL, MMDS, LMDS, GSM/UMTS, entre otros) para acceder a Internet Banda Ancha tanto en Lima como en los departamentos del interior del país.

#### Indicadores del servicio de acceso a Internet a nivel nacional

El mercado de Internet también ha evidenciado un desenvolvimiento favorable en los últimos años, teniendo para fines del 2006, según datos publicados por OSIPTEL, 1 028 755 suscriptores de Internet, siendo este número 23,5% mayor al obtenido en el año 2005. Asimismo, se puede destacar el crecimiento de conexiones de Banda Ancha, que a marzo del 2007 alcanzaron las 495 052, superior en 40,4% respecto a diciembre del 2005. Todas las cifras indican un notable crecimiento.

#### 2.3.4 Servicio Telefonía Móvil

Este servicio cuenta en la actualidad con aproximadamente 162 826 líneas o número de abonados. Las operadoras que brindan este servicio son Movistar, Claro y Nextel. Tacna se encuentra interconectada con otras ciudades del Perú y con el norte de Chile a través de redes de fibra óptica y microondas, pertenecientes a los mencionados operadores de telecomunicaciones.

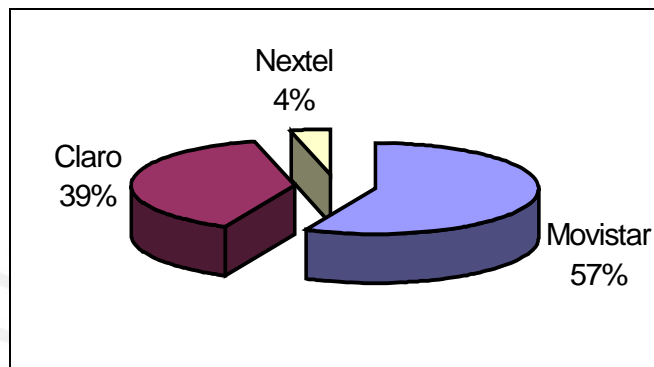
Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) cuentan con un número de estaciones base en todo el departamento. Del cual nos interesa saber el estado actual dentro de la ciudad de Tacna, según la tabla 2.2.



Tabla 2.2: Distribución del mercado de telefonía celular en Tacna Agosto 2007

Operador	Mercado (%)	Abonados aprox.
Movistar	70	113 978.2
Claro	25	40 706.5
Nextel	5	8 141.3

A marzo del 2007, a nivel nacional se sabe que Telefónica Móviles cuenta con 5 593 330 abonados (56,9%), América Móviles tiene 3 860 757 (39,3%), y Nextel cuenta con 368 766 usuarios (3,8%). Además el 57,6% se concentra en Lima y Callao, el otro 42,4% en el resto del país.



Datos: MTC / Elaboración Propia

Figura 2.10: Distribución del mercado Nacional entre operadores Móviles.

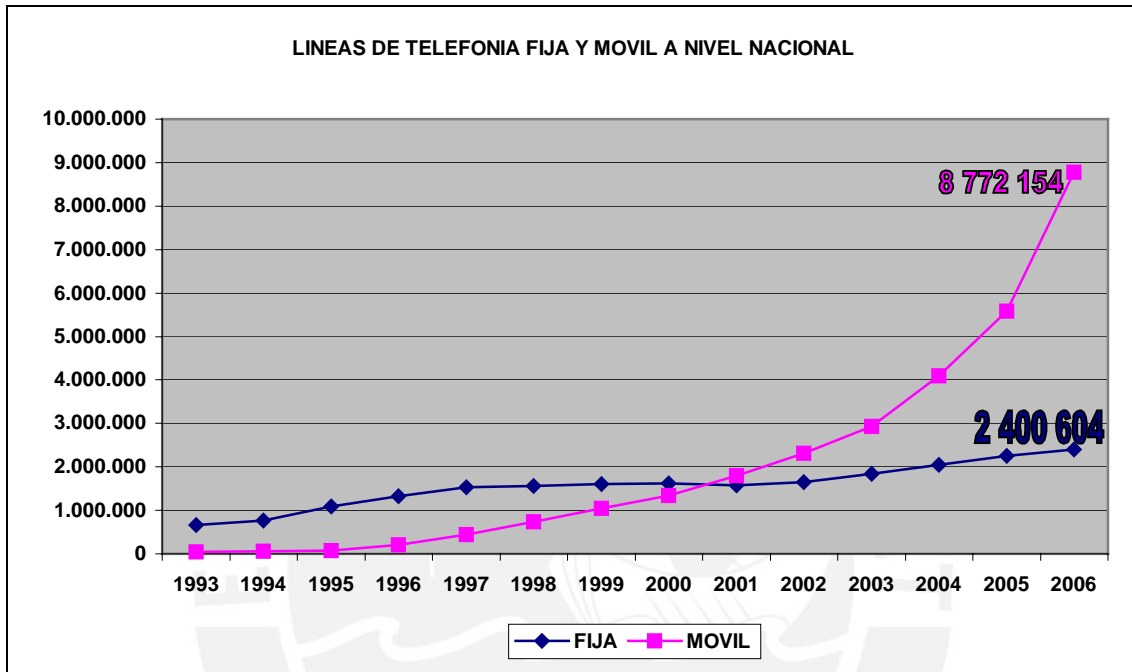


Fuente: MTC

Figura 2.11: Ubicaciones de las Estaciones base (BTS) –2006

Tabla 2.3: Número de Estaciones Base en el departamento de Tacna

DEPARTAMENTO	TELEFÓNICA MÓVILES S.A. (Telefonía Móvil)	AMÉRICA MÓVIL PERÚ S.A.C. (PCS)	NEXTEL DEL PERÚ S.A. (Troncalizado)
TACNA	19	21	4
Ciudad de Tacna	4	11	?

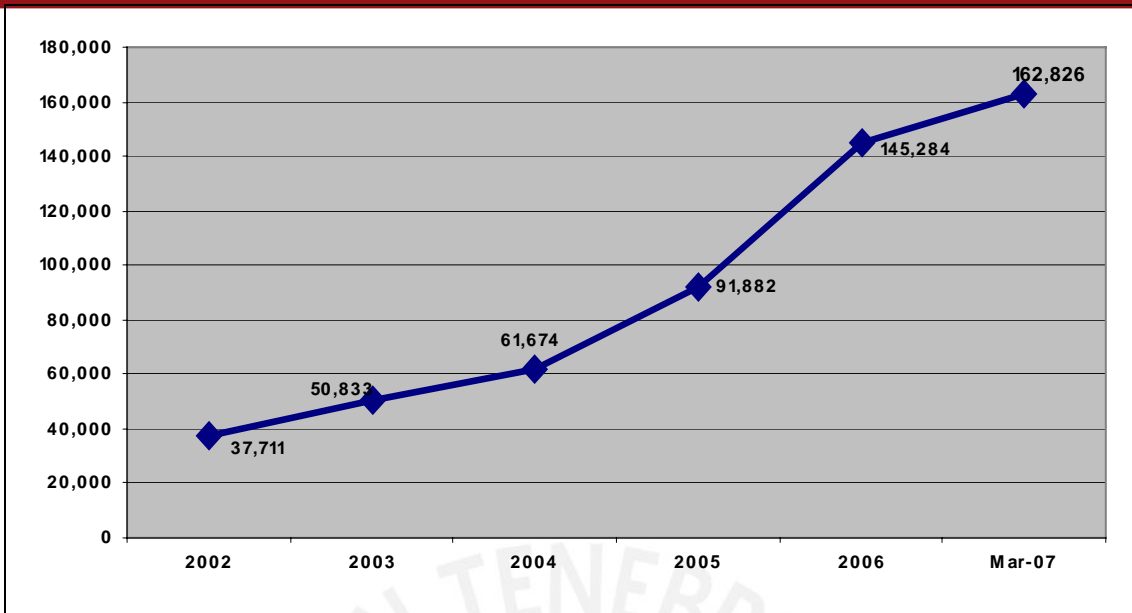


Datos: Secretaría de Comunicaciones - MTC / Elaboración Propia

Figura 2.12: Líneas de telefonía fija y móvil a nivel nacional

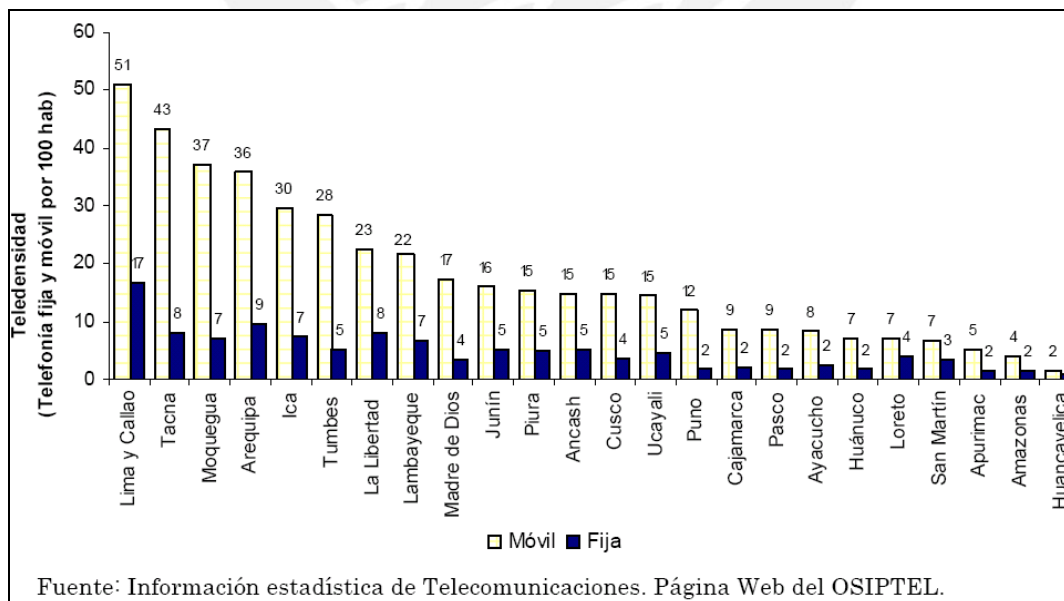
En el gráfico anterior se compara el crecimiento de la telefonía móvil y la telefonía fija a nivel nacional en el periodo 1993 al 2006. Como se puede apreciar claramente existe una gran diferencia entre ellas, y esta diferencia seguirá incrementándose en los próximos meses.

Según datos del MTC [28], a nivel local Tacna cuenta con 162 826 clientes móviles hasta marzo del 2007.



Datos: Secretaría de Comunicaciones - MTC / Elaboración Propia  
Figura 2.13: Líneas de telefonía móvil en Tacna

A marzo del 2007, a diferencia de la telefonía fija (8.5) la telefonía móvil cuenta con una densidad 59.32, generalizando esto quiere decir que más de la mitad de los habitantes en Tacna cuenta con un teléfono celular. Aunque algo desactualizado el siguiente gráfico obtenido por OSIPTEL, se puede ver la densidad de telefonía por departamento siendo Tacna el segundo con mayores niveles en telefonía móvil y estando dentro del promedio en telefonía fija a nivel nacional. Estas tendencias siguen manteniéndose en la actualidad.



Fuente: Información estadística de Telecomunicaciones. Página Web del OSIPTEL.

Figura 2.14: Densidad fija y móvil por departamento – Septiembre 2006

### Indicadores del Servicio Público Móvil a nivel nacional

Durante el primer trimestre del 2007, el número de líneas móviles registró un crecimiento del 12%, respecto a diciembre de 2006. Así, con 9 822 853 líneas móviles en servicio, la densidad del servicio público móvil a marzo de 2007 llegó a 35,7 líneas por cada 100 habitantes. Con relación a la distribución geográfica, se observa que el departamento de Lima y Callao concentra el 57,6% del total de líneas. Por otro lado, en cuanto a la distribución de abonados de servicios móviles según modalidad de servicio, el 86,1% corresponden a los abonados bajo la modalidad prepago, mientras que el restante 13,9% pertenece a la modalidad post pago o contrato.

Tomando las cifras de la ENAHO a diciembre del 2006, el 31,1% de los hogares en el ámbito nacional cuenta con por lo menos un celular; estas cifras se diferencian dependiendo de si es zona urbana o rural. Así, en las zonas urbanas el 45,5% de los hogares posee por lo menos un celular; mientras que en las zonas rurales el 4,3% de los hogares cuenta con por lo menos un celular. [16]. Tomando en cuenta el este crecimiento acelerado, se pronostica que para finales del año 2007 se contara con mas de 15 millones de líneas móviles a niveles nacional.

#### 2.3.5 Servicio de televisión

En la tabla 2.4 se detalla los canales de televisión con los que cuenta la ciudad de Tacna, según datos del MTC. Entre ellos los de señal abierta y aquellas empresas privadas que brindan servicio de televisión por cable o televisión satelital.

Tabla 2.4: Distribución de canales de televisión en la provincia de Tacna

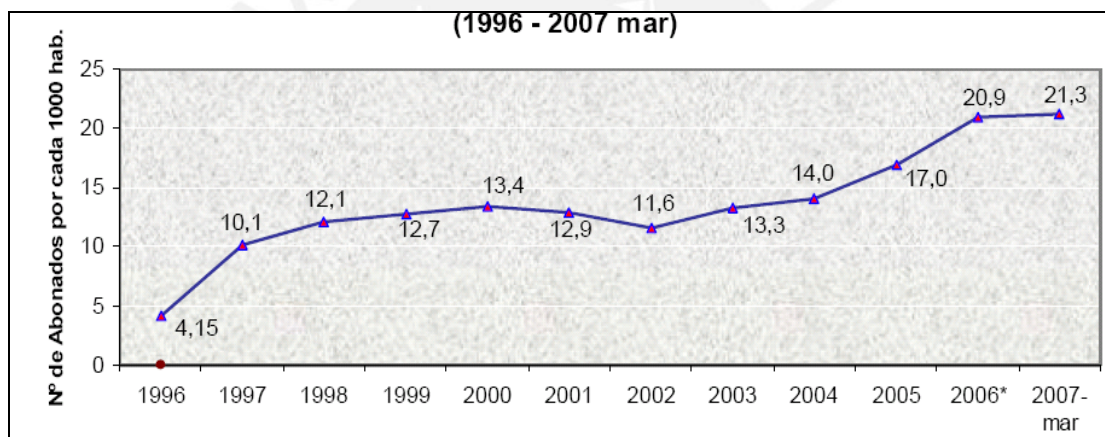
VHF	Canal
Panamericana Televisión	2
América Televisión	9
Radio Televisión del Perú	7
Frecuencia Latina	13
TV Heroica - APACOSTA	4
Perú TV - (AREQUIPA)	11
UHF	
TV Sur	31
CORPORACION REISMAN	43
PREMIUM INTERNACIONAL	15
Canal A	33

Datos: Registro Nacional de Frecuencias - MTC

Es de conocimiento público que en la ciudad de Tacna operan Cable Mágico y Cable Mágico Satelital, *DirecTV* y *Cable Star (Star Global Com)*, como empresas proveedoras de servicios de televisión por suscripción.

Indicadores del Servicio de Distribución de Radiodifusión por Cable a nivel nacional  
El número de suscriptores del servicio de televisión por cable a marzo del 2007, alcanzó los 585 245 abonados. El departamento de Lima y la Provincia Constitucional del Callao concentran el 81,2% del total de suscriptores.

El nivel de penetración del servicio alcanzado durante el primer trimestre del 2007, fue de 21,3 suscriptores por cada 1000 habitantes en el ámbito nacional. El porcentaje de hogares que cuenta con el servicio de televisión por cable, según la ENAHO a diciembre del 2006; ascendió a 13,6%, a nivel nacional.



Datos: Telefónica Multimedia S.A.C., DirecTV Perú S.R.L. y Boga Comunicaciones S.A.

Figura 2.15: Evolución de densidad de los abonados de televisión por suscripción

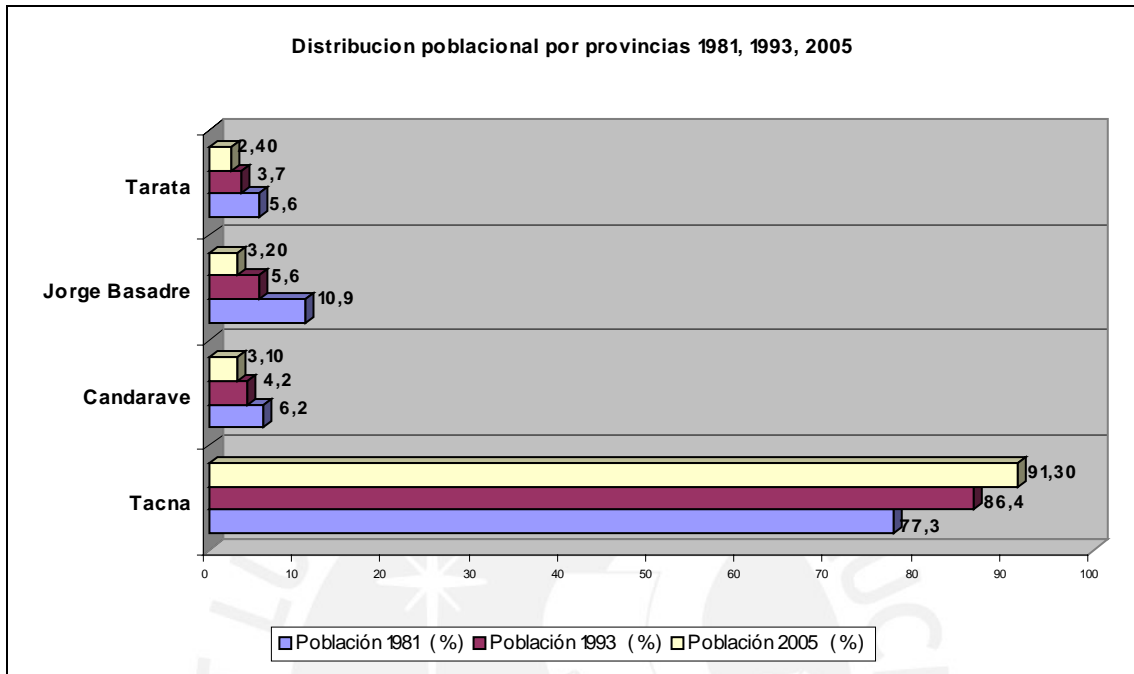
## 2.4 Determinación de necesidades y evaluación del mercado

### 2.4.1 Población

El departamento de Tacna cuenta con 274 496 habitantes, alberga al 1.05% de la población total del país.[15]

Tabla 2.5: Distribución poblacional censada 2005

Provincias	Población 2005	%
Total	274 496	100
Tacna	250 614	91.3
Candarave	8 509	3.1
Jorge Basadre	8 785	3.2
Tarata	6 588	2.4



Elaboración Propia

Figura 2.16: Distribución población por provincias

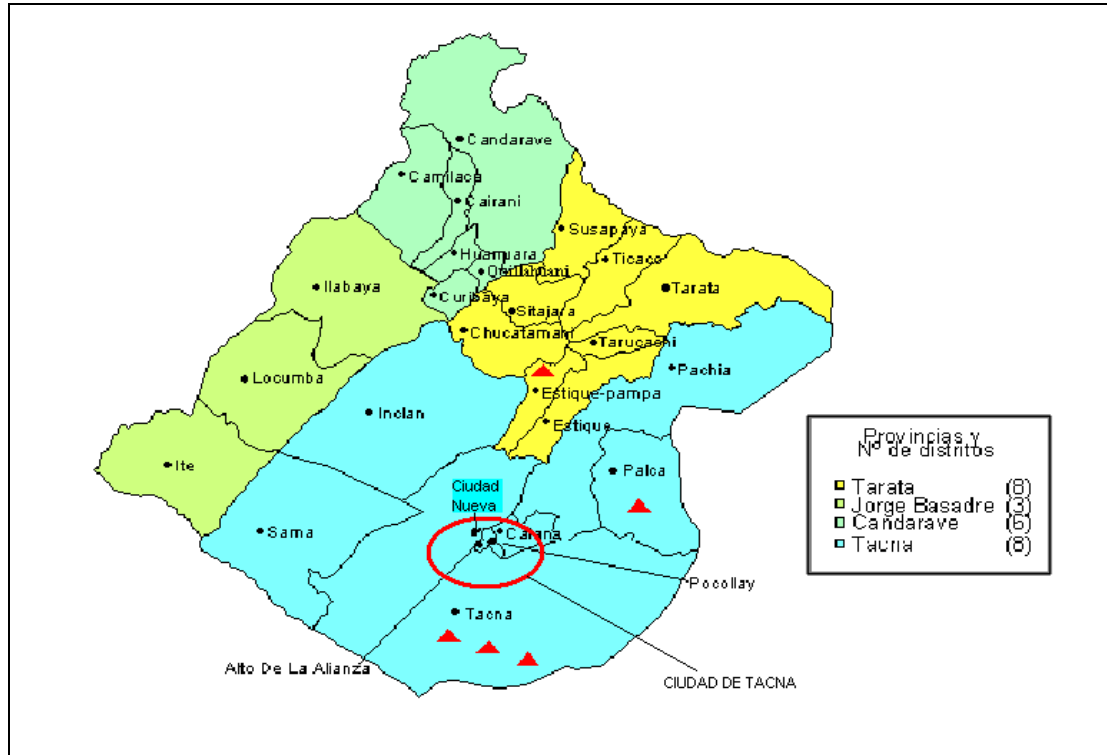
Como se puede apreciar la mayor parte de la población se encuentra en la provincia de Tacna, se puede observar la migración en el tiempo hacia la capital provincial.

Tabla 2.6: Población de la provincia de TACNA por Sexo y por distrito (Agosto 2005)

Distrito	Total	%	Hombres %	Mujeres %
<b>Tacna</b>	97 247	<b>35.4</b>	17.6	17.9
<b>Alto de la Alianza</b>	33 877	<b>12.3</b>	6.1	6.2
Calana	2 394	0.9	0.5	0.4
<b>Ciudad Nueva</b>	35 067	<b>12.8</b>	6.5	6.3
Inclan	2 802	1.0	0.6	0.5
Pachia	1 747	0.6	0.4	0.3
Palca	1 106	0.4	0.2	0.2
<b>Pocollay</b>	15 503	<b>5.6</b>	2.9	2.8
Sama	2 217	0.8	0.5	0.3
<b>CrnI. Gregorio Albarracín</b>	58 549	<b>21.3</b>	10.6	10.8



La ciudad de Tacna cuenta esta conformada por lo distritos que están sombreados en la tabla 2.6. Así se puede apreciar la concentración poblacional en la capital del departamento como es común, se muestra así en la figura 2.17.



Fuente: Portal Regional Agrario Tacna [36]

Figura 2.17: Mapa provincial y distrital. Ubicación de la ciudad de Tacna en la región

### 2.4.2 Vivienda

En cuanto a vivienda el departamento tiene 97 067 unidades habitacionales (censo 2005) y tiene una tasa de crecimiento aproximado de 3540 unidades cada año. Siendo el 80.7% casas independientes, 5.2% edificios y el resto viviendas en quintas, chozas o cabañas, viviendas improvisadas, etc.

Total de viviendas en la ciudad de Tacna 61 256, siendo el material predominante el ladrillo o bloque de cemento 82.2% y un 10.8% hechos de adobe, otro 9.9% de esteras y el resto de madera, quincha, piedras o sillar, etc.

Las viviendas de la zona urbana que cuentan con agua dentro de la vivienda conectada a la red pública representan un 77.4%. Además el 88.3% posee alumbrado eléctrico en su vivienda.

### 2.4.3 Ubicación General de la demanda

#### Población Económicamente Activa (PEA)

En general se considera población económicamente activa al conjunto de personas de uno u otro sexo, que están dispuestos a aportar su trabajo para la producción de bienes y servicios económicos. Entre empleados adecuadamente (45.5%) y sub-empleados (49.2%).

Tabla 2.7: Indicadores sobre PET (Población en edad para trabajar), PEA y PEA ocupada. Tacna 2005

PET	Población Económicamente Activa			tasa de actividad	tasa empleo/ población	tasa de desempleo
	Total	Ocupada	Desocupada			
245015	178231	168839	9392	72,7	68,9	5,3

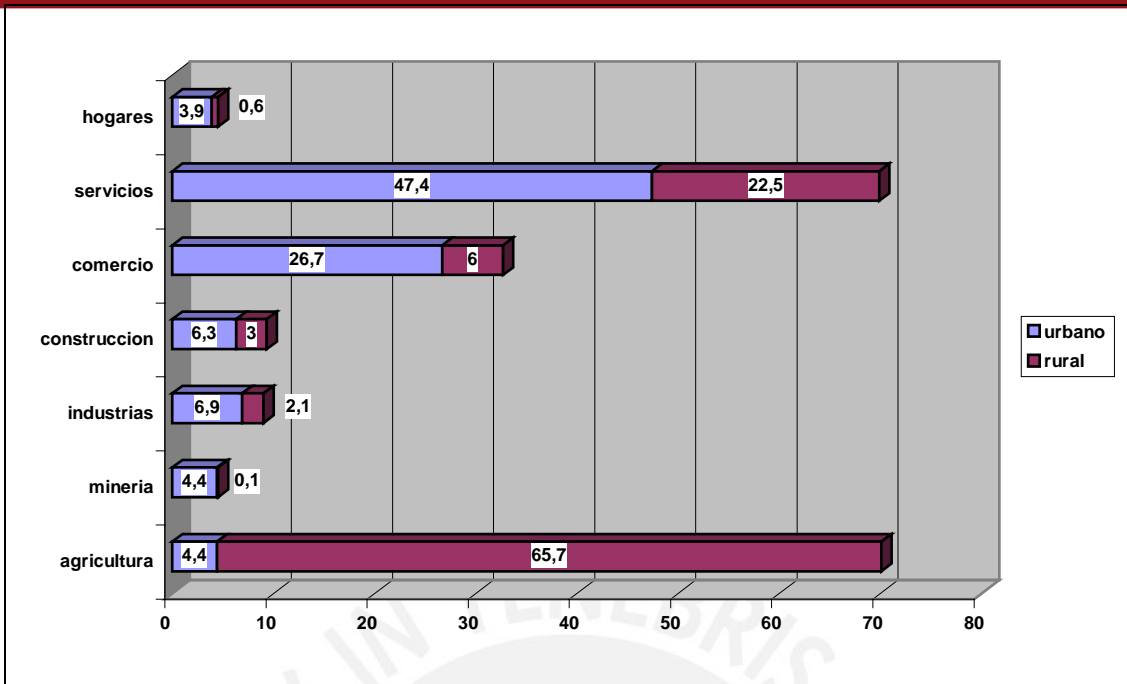
Datos: MTPE

Es para esta población, aproximadamente 170 mil personas, hacia las que va dirigida la implementación de una red de tercera generación, pues son ellas las que podrán pagar el servicio. Lo cual implicara que en la sección de ingeniería se tomara en cuenta este número de personas para los cuales se deberá dimensionar la red. Según la tabla 2.7 la tasa de desempleo es baja (5,3%), caso contrario la tasa de actividad es de 72,2% lo cual indica que existe una gran parte de la población que cuenta con estabilidad laboral. Dicha estabilidad laboral se refleja en los sueldos o remuneraciones de los pobladores de la ciudad (ver tabla 2.8) que durante años se ha mantenido en promedio en 1167 nuevos soles. [22]

Tabla 2.8: Promedio de remuneraciones por categoría del sector privado. (En Nuevos Soles)

TACNA	Ejecutivos	Empleados	Obreros	Prom. Bruto
2004	3460,21	1260,63	729,11	1235,04
2005	3498,06	1216,69	647,22	1114,97
2006	3562	1235,1	720,9	1151,4

Este vendría a ser el mercado potencial en Tacna. De acuerdo a las encuestas realizadas en el viaje de reconocimiento Tacna muestra un mercado potencial joven y comercial que va en crecimiento. Así se reflejan en las estadísticas de la cámara de comercio regional de Tacna, INEI, IPE, MTPE.



Elaboración Propia

Figura 2.18: Distribución de la PEA por actividad económica.

La agricultura cobra mayor importancia en el área rural. A esta actividad pertenece el 16% de la PEA tacneña, mientras que en el área rural este porcentaje constituye el 65.7%. En Tacna el 42.7% de la PEA corresponde a la rama de servicios, mientras que a nivel urbano este mismo porcentaje es de 47.4% versus el 22.5% que se registra en el área rural. En resumen, el área urbana y rural comparten la característica de que es un solo sector económico el que predomina fuertemente en la generación del empleo (agricultura en el área rural y servicios en el urbano). Es en esta parte (servicios) donde se encuentra nuestro mercado, ofrecer servicio de telefonía móvil a la a población tacneña.[17]

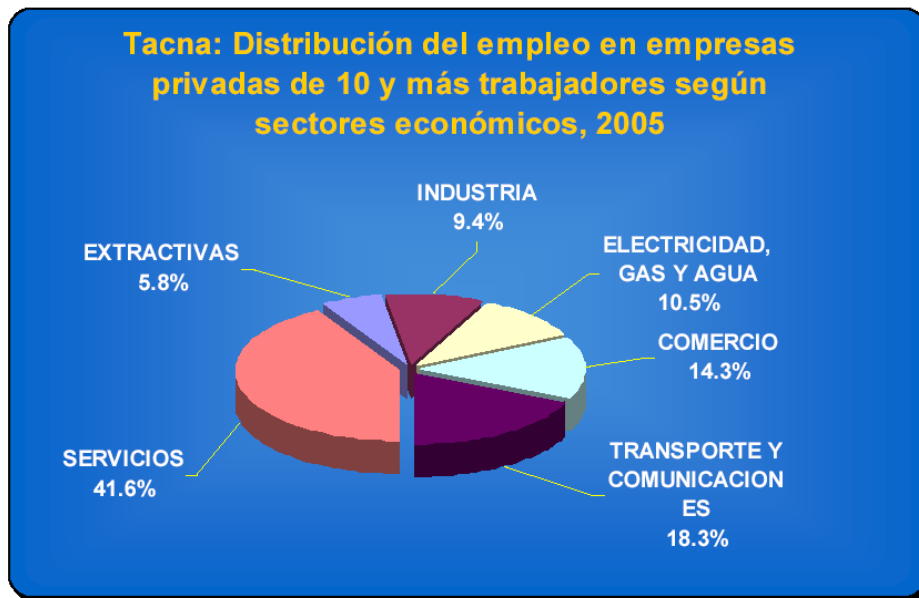
En cuanto a las características de la fuerza laboral de la ciudad tacneña, se concentran en el rango de 25 a 44 años y el nivel educativo secundario es el que mayor proporción de la PEA concentra. En la tabla 2.9 muestra la PEA ocupada en sus diferentes ámbitos.

Tabla 2.9: Distribución de la PEA ocupada por grupo ocupacional

Distribución de la PEA	%
Profesional, técnico, gerente, administrador y funcionario, afín	18,4
Empleado de oficina	7,8
Vendedor	29,8

Agricultor, ganadero, pescador, minero y cantero	4,9
Artesano y operario	14,1
Obrero	3,4
Conductor	6,1
Trabajador de los servicios	12,3
Trabajador del hogar	3,2

Estos grupos se engloban en los siguientes grandes sectores económicos presentados en la figura 2.19.



Fuente: MTPE -DNPEFP. Encuesta Nacional de Variación Mensual del Empleo

Elaboración: MTPE - Programa de Estadísticas y Estudios Laborales (PEEL)

Nota: No se considera el sector Construcción.

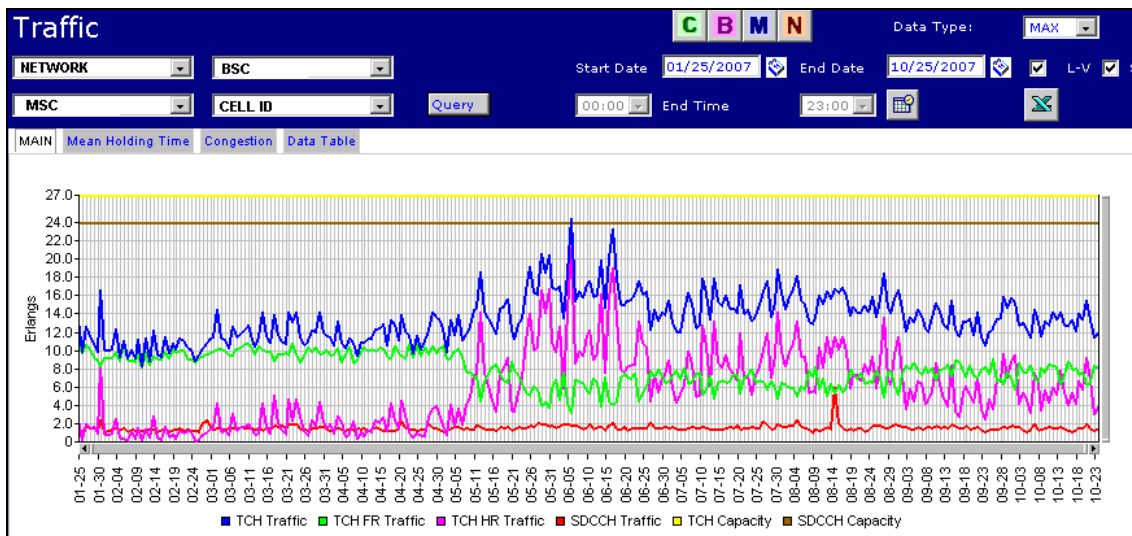
Figura 2.19: Distribución de empleo según sectores económicos (empresa privada)

#### 2.4.4 Delimitación geográfica del Mercado

Mediante la ayuda de un mapa catastral de la ciudad podemos ver donde se ubican los focos del mercado potencial de nuestro proyecto de tesis. Clasificados en sectores como: residencial y comercial - empresarial. A continuación se pasa a detallar las calles, avenidas y zonas en las cuales se centran dichos sectores.

Debe ser de conocimiento general que en toda plaza de armas o centro de la ciudad de cada localidad es donde se concentra uno de los focos de mayor cantidad de tráfico telefónico y comercial, así pues en la figura 2.20 vemos el tráfico en la hora pico entre el 25 de enero y el 23 de octubre del 2007 donde se presentan picos de hasta 24

Erlang. De la misma manera se presentan dicha concentración de tráfico en otras partes de la ciudad, las cuales se pasaran a detallar mas adelante.



Fuente: Sistema de Monitoreo de Trafico – América Móviles Perú S.A.C.

Figura 2.20: Tráfico de un sector de una estación base en la ciudad de Tacna

Las zonas comerciales y empresariales son:

- A. Bolognesi y Alfonso Ugarte, venta de computadoras e importaciones
- B. La Avenida Coronel Mendoza, 28 de Julio, Tupac Amaru,
- C. La Avenida San Martín - Paseo Cívico (centro de la ciudad), y la paralela la Avenida Bolognesi (Hotel de Turistas, Mercado Central, Galerías comerciales)
- D. El Terminal Terrestre y alrededores (estadio Bolognesi de Tacna, Municipalidad Regional, MTC, Canal 7, Centro comercial La Rotonda).
- E. Centro comercial Polvos Rosados: cruce de las Avenidas Industrial y Gustavo Pinto
- F. ZOFRATACNA, camino a Chile - venta de autos.
- G. Parque industrial de Tacna: Av. El Sol y Av. Industrial.

Las zonas residenciales son:

- H. La Avenida Bolognesi y San Martín Hacia el norte y el centro de la ciudad.
- I. Ciudad Nueva hacia el norte
- J. Coronel Albarracín hacia el sur
- K. Y las expansiones poblacionales que se están dando en los extremos de la ciudad.





Elaboración Propia

Figura 2.21: Mapa catastral de Tacna, zonificación del mercado potencial

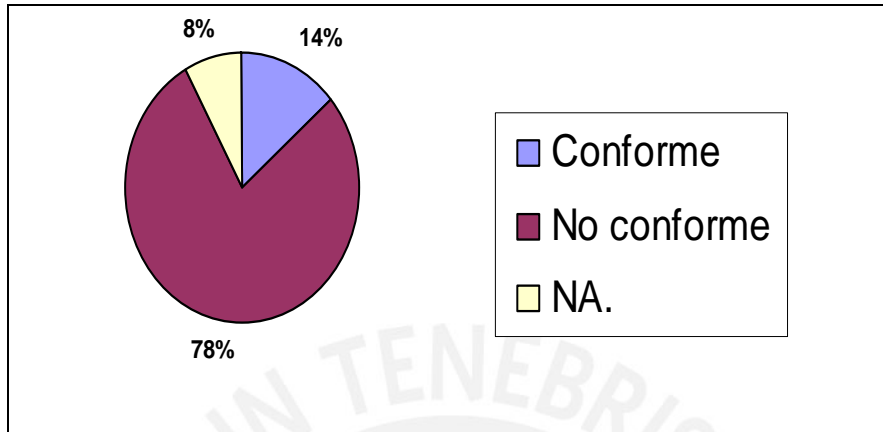
## 2.5 Encuestas en la ciudad de Tacna

Los días 14, 15 y 16 de agosto durante el viaje de reconocimiento de la zona se realizaron encuestas de opinión a la ciudadanía tacneña para saber cuán conformes se sienten con el servicio de telefonía móvil actual.

Se realizaron 100 encuestas, entre hombres (58%) y mujeres (42%) cuyas edades oscilan entre 19 y 45 años. La mayoría de los encuestados son miembros de la población económicamente activa (PEA) y/o estudiantes de educación superior.



A la pregunta: ¿Le satisface se servicio actual de telefonía móvil?, un rotundo 78% contestó negativamente contra un 14% que se siente conforme con su servicio actual. Ver figura 2.22



Nota: ningún encuestado contaba con servicio de telefonía troncalizado (Nextel)  
Elaboración Propia

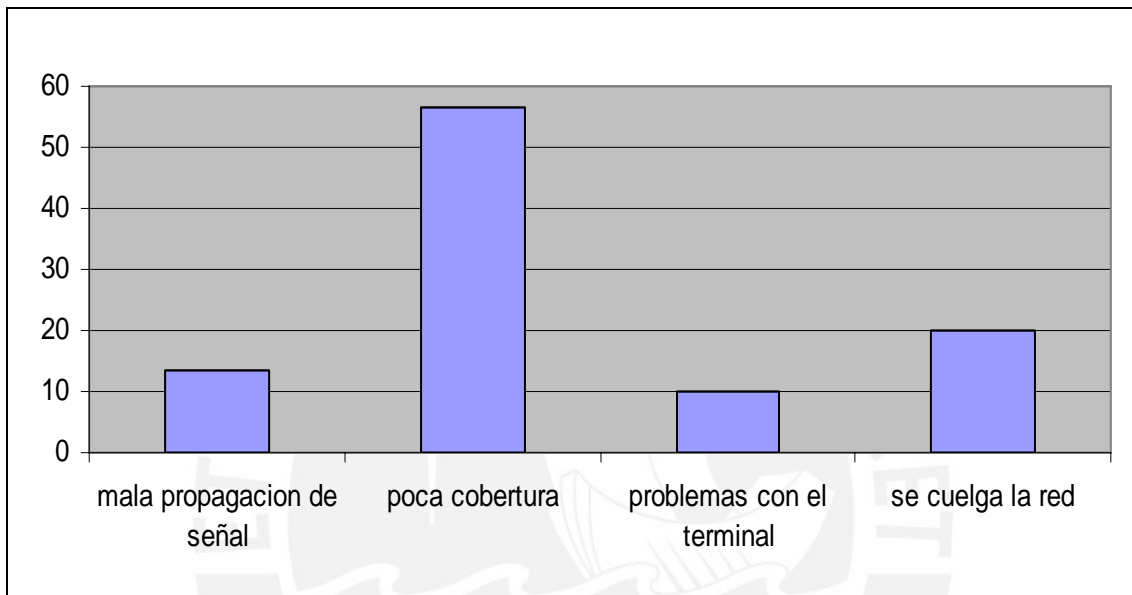
Figura 2.22: Satisfacción del Servicio Móvil actual – agosto 2007

Teniendo en cuenta que aproximadamente el 70% de las líneas pertenecen a Movistar, una gran parte de la población encuestada se encontraba suscrita a dicho operador de telefonía móvil con el cual no siente que se le este brindando un servicio de calidad, caso contrario los pocos usuarios de Claro (25%) no presentan esta misma disconformidad. Al presentar un menor numero de abonados y la misma cobertura que la competencia, este operador no presenta saturación en su red durante la hora cargada.

Un pequeño 8% le es indiferente su servicio, no se preocupa por su calidad ni por su posible deficiencia

De esta parte de la población que no esta conforme con su servicio, a la pregunta: ¿Cuál es la causa de esta mala calidad de servicio o como percibe esta disconformidad? En la figura 2.23 se aprecia que un 57% respondió que existe poca o mala cobertura pues se quejan de que solo hay cobertura en algunas partes y no hay en las afueras de la ciudad. Es aquí donde se esta presentando una expansión poblacional masiva los últimos años, debido a la creciente tasa de natalidad y migratoria.

Un 20% de los encuestados manifestó un desagrado al realizar sus llamadas pues estas se cortan repentinamente, no se efectúan o pierden la paciencia al marcar repetidas veces y no poder lograr concretar la llamada, a pesar de tener saldo disponible. La mala propagación de la señal y los problemas con los terminales móviles son dos factores que la población piensa que afectan a la mala calidad de la señal, esto no está comprobado pues de eso depende de la tecnología y el dimensionamiento de la red.



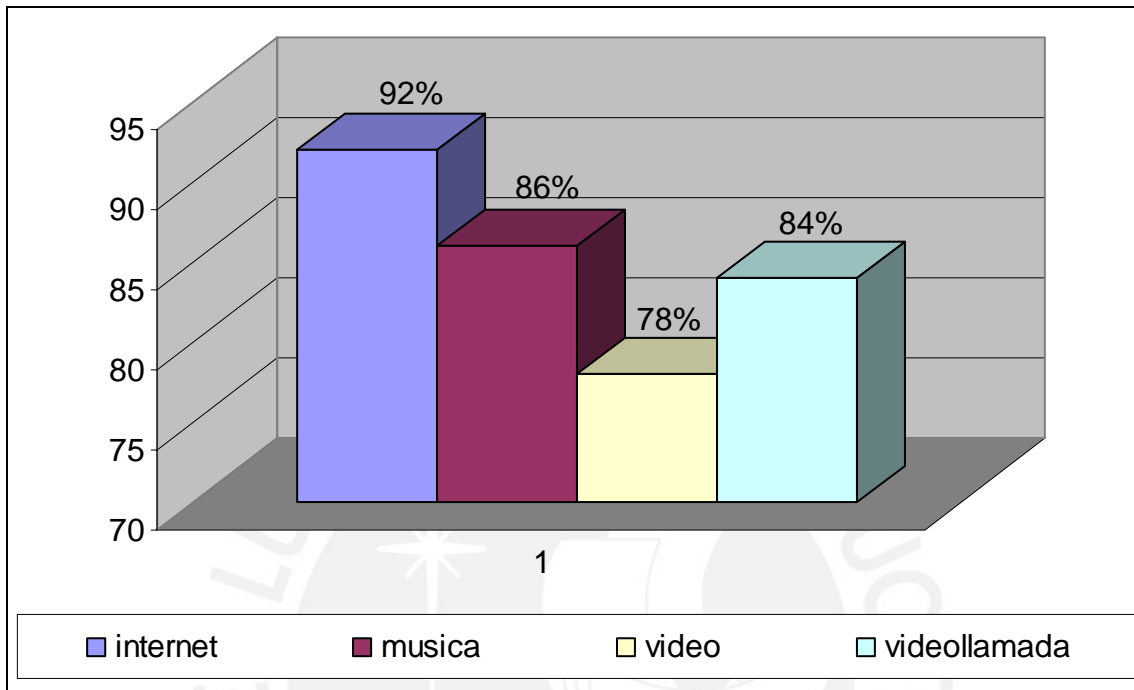
Elaboración Propia

Figura 2.23: Causa y motivos por los cuales se creen que se tiene mala calidad del servicio telefónico móvil en la ciudad de Tacna

La red de Claro es una red relativamente nueva y en crecimiento es por ello que no presenta los problemas de congestión y/o saturación en sus estaciones base durante la hora pico u algún otro momento del día donde se masifique el tráfico. Caso contrario la red de Movistar es una red que presenta cambios de tecnología o migraciones así como un planeamiento que en Mayo del 2007 ya había sobrepasado las expectativas de todo el año. Es por ello que presentan dichos cuellos de botella en la hora pico y no se concretan las llamadas por saturación de la red actual.

Otra pregunta realizada fue: ¿Qué tipo de servicio le gustaría al usuario tener en su terminal móvil?: En promedio el 85% de los encuestados quisieran tener algún tipo de servicio multimedia en su terminal móvil ya sean estos videos, música, video-llamadas o Internet de banda ancha (figura 2.24). Cabe resaltar que los encuestados aun así no

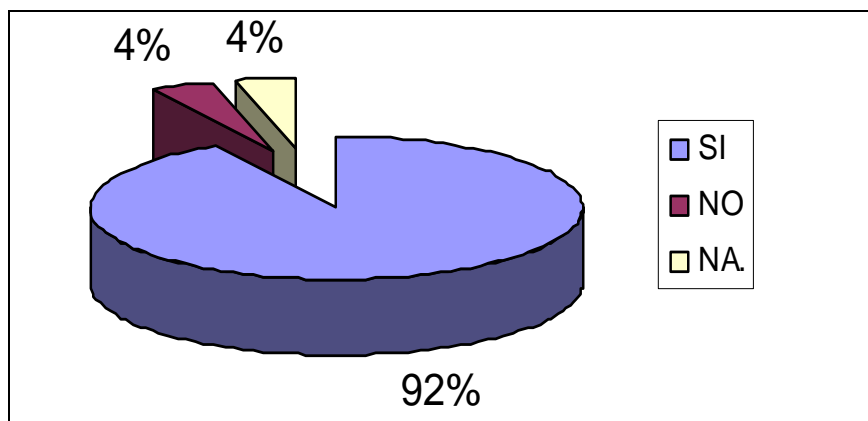
tengan teléfonos de última generación tienen el deseo de adquirirlos y hacer realidad dicha experiencias que solo pueden ver por Internet. Se pudo notar un nivel de conocimiento en tecnologías de última generación entre los jóvenes pues mediante el Internet pueden acceder a *blog*, páginas de proveedores, etc.



Elaboración Propia

Figura 2.24: Distribución de los servicios multimedia que prefieren los encuestados

Además se les pregunto, sobre uno de los pilares en las comunicaciones de tercera generación en cuanto a servicio se trata, la video-llamada como herramienta trabajo para el sector comercial, el 92 % de los encuestados cree que las video-llamadas permitirían una transacción mas personalizadas entre proveedores y compradores, generando confianza y una mejor atención entre ellos.



Elaboración Propia

Figura 2.25: Video-llamada como medio de negocios

También podría aplicarse para la atención al público turista que llega al aeropuerto o la terminal de buses, mediante las video-llamadas se pueden realizar reservas en hoteles bajar videos de las instalaciones, y tener un trato mas personalizado con el turista, sobretodo el chileno que ya posee esta tecnología de tercera generación.

El mercado de Internet de banda ancha fijo por abonado es muy pobre aun, es por ello que existe como en todo el Perú una gran cantidad de cabinas de Internet. Entre los tacneños encuestados se aprecia que un 58 % el cual no tienen Internet en sus hogares prefieren tenerlo en su terminal móvil que en su casa por la comodidad de tener en todas partes un acceso a Internet (movilidad).

Entre los que tienen servicio de valor agregado o Internet de banda ancha en sus domicilios se les pregunto: ¿Qué características le gustaría que tenga el acceso a Internet: movilidad, velocidad o ambas? A lo que el 45% prefiere velocidad, la mayor parte de este grupo no tiene Internet en casa es por ello que utilizan las cabinas de Internet como acceso por ello que quejan de la velocidad, un 10% prefiere movilidad pues prefieren tener a la mano siempre que lo necesiten el acceso a Internet y un 45% prefiere ambas cosas.

En conclusión, no les es inconveniente estar fijos en un mismo lugar (parados) pero quieren tener un buen servicio con velocidad y cobertura total. Sin interrupciones.

## Capítulo 3

### Diseño de la Red

Según el estudio socio-económico (mercado) realizado en el capítulo anterior y con la delimitación de la población económicamente activa (PEA), así como la ubicación de las zonas de mayor tráfico y potencial mercado se pasara a definir la ubicación de las estaciones bases celulares, o en nuestro caso nodos B, basados en dichos estudios preliminares.

#### 3.1 Elección de la banda 900MHz

En nuestro diseño se propone la banda de 900 MHz. para la distribución de canales de *downlink* y *uplink*, basándonos en la reciente licitación pública especial para entregar en concesión la prestación de servicios públicos de Telecomunicaciones, entre los cuales figura la telefonía móvil, que se dio el pasado septiembre (2007) a cargo de ProInversión [ANEXO C].

Los principales beneficios que otorga en uso de UMTS en la banda de 900 MHz son los siguientes:

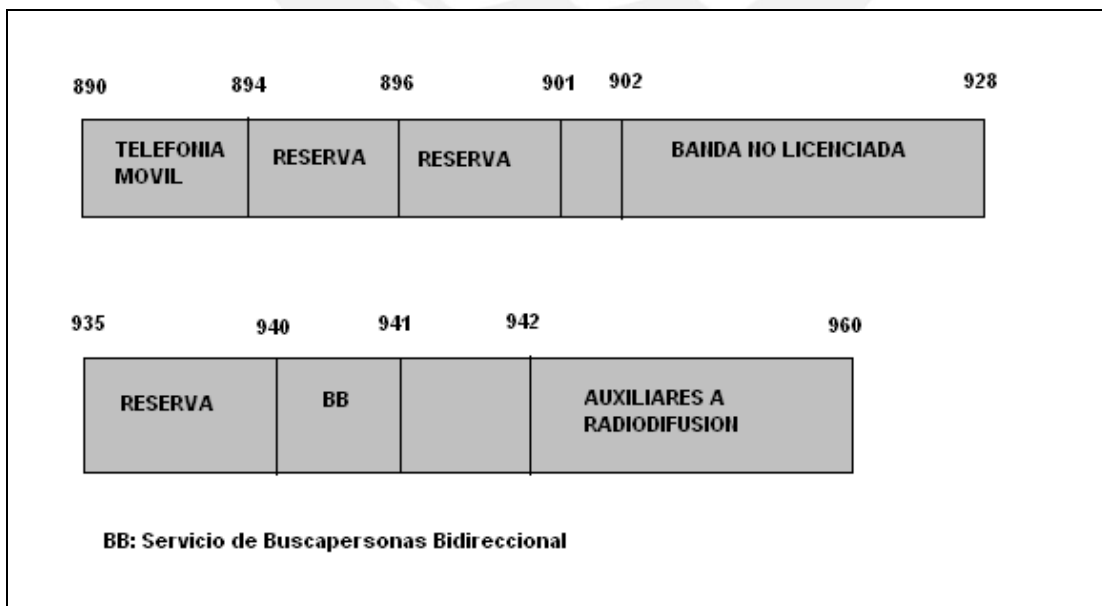
- Menores pérdidas por propagación comparada con la banda de 1900 MHz. El uso de frecuencias más elevadas trae consigo mayores pérdidas de propagación
- Mejora la cobertura *indoor* de zonas urbanas, llevaría a una mejora económica por la menor cantidad de inversión, lo que se trasluciría en menores tarifas a los usuarios.
- Reducción en un 50% la cantidad de *sites* para cubrir la misma área que en la banda de 1900 MHz.

Esta banda presenta una serie de beneficios en las comunicaciones móviles, en Europa es ampliamente utilizada para GSM. La experiencia práctica concluye que a menor frecuencia, mayor distancia puede haber entre transmisor y receptor.

La mayor motivación para la elección de esta banda de frecuencias es la situación actual de la banda de 850 MHz en nuestro país, una banda que desde los inicios de la telefonía móvil ha sido exclusividad de dicha tecnología y por ende esta saturada con todos los proveedores que brindan servicios móviles en nuestro país. (Movistar, Claro y Nextel)

Dicho cambio de banda evitará la interferencia co-canal y/o interferencia por adyacencia entre portadoras, es decir, que al ser únicos usuarios en la banda no habrá señal adyacente con la cual se pueda interferir. El reuso de frecuencias no será necesario en nuestro caso pues como se explico en el capítulo 1, WCDMA esta basado en códigos.

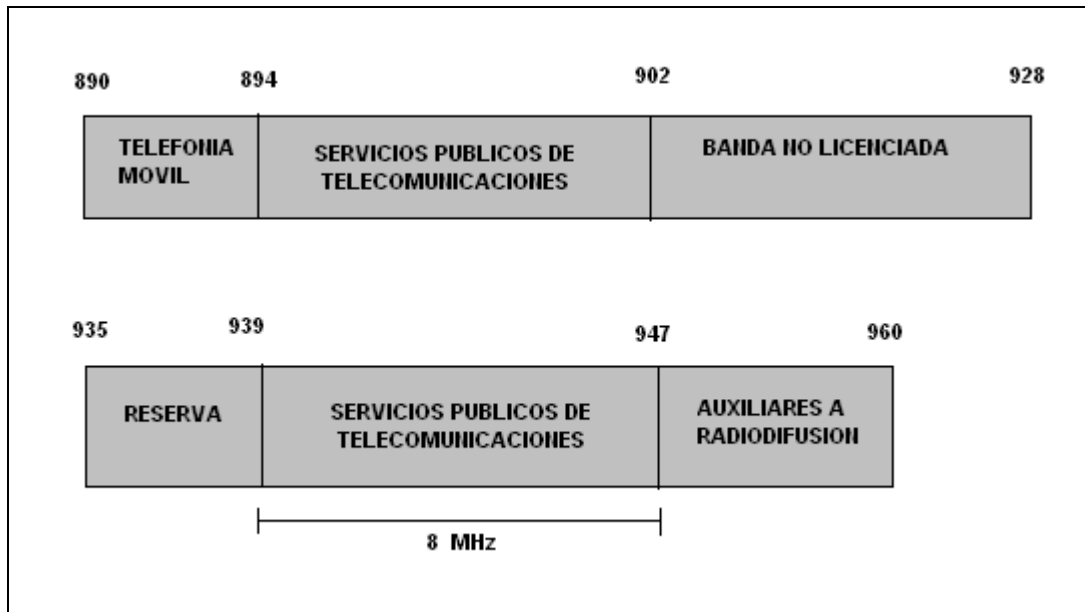
A continuación se presenta la situación de la banda de 900 Mhz en agosto de 2007 cuando se realizo el viaje de reconocimiento a la zona. (Figura 3.1) Y también se muestra el cambio realizado para la licitación (figura 3.2) lo que otorgaría un ancho de banda de 8MHz a cada portadora de *uplink* y *downlink* respectivamente, esto permitirá hacer uso de WCDMA (5MHz por portadora, FDD) en dicha banda, teniendo en cuenta una banda de guarda de 1.5MHz a cada lado.



Elaboración propia

Figura 3.1: Situación anterior de la Banda 900Mhz (890 – 960 MHz). [ANEXO C]





Elaboración propia

Figura 3.2: Situación luego de la licitación pública de la banda de 900MHz

### 3.2 Topología de la red.

Ahora pasaremos a determinar la ubicación de los Nodos B con sus respectivas coordenadas y demás parámetros de radiofrecuencia (RF).

La primera estación base y punto central (topología estrella) para la infraestructura del NOC (centro de gestión, MSC, RNC, un Nodo B, etc.) será el centro de la ciudad u alrededores donde se puede constatar que se encuentran autoridades locales, comercio privado (casinos, restaurantes, discotecas, galerías, mercados, etc.), plaza de armas (paseo cívico), gran cantidad de hoteles, el estadio de fútbol (Tabla 3.1).

Para ello se contará con una torre auto-soportada de 50m de altura para que desde ahí se pueda realizar los enlaces microondas con los demás Nodos B, pero las antenas en este *site* tendrán una altura de 30m. El *site* recibirá el nombre de TACNA CENTRO y estará ubicado en la Calle Francisco Lazo s/n, sus coordenadas son 18° 0'45.58" latitud sur, 70°15'9.69" longitud oeste. La sectorización se distribuye como se propone a continuación:

Tabla 3.1: Resumen nodo B – TACNA\_CENTRO

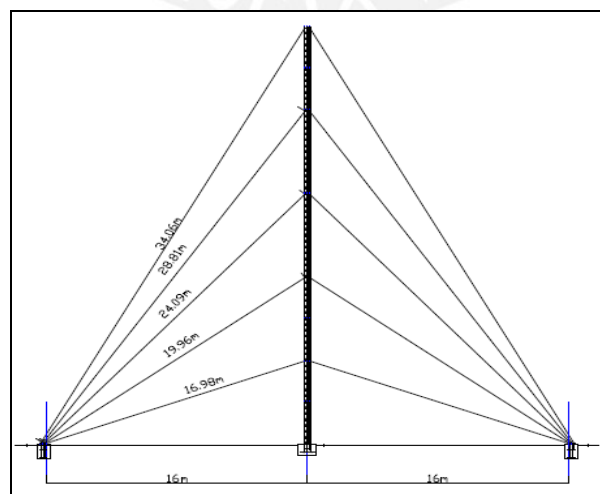
Sector	P-SC	Azimuth	downtilt	Objetivo de cobertura
1	256	30°	3°	Mercadillos, Av. Tupac, venta de artefactos, computadoras. 1.5 km.
2	19	110°	3°	Av. Bolognesi y el centro de la ciudad, mercado central, hoteles, etc. 1.7 km.
3	120	205°	1°	Continuidad a la zona sur – carretera, zona suburbana. 3 Km.
4	75	335°	3°	Terminal terrestre, Estadio Bolognesi, autoridades regionales, MTC. 1.6 km.

Para el segundo Nodo B se tomo en cuenta el sector residencial e industrial pues al norte de la ciudad se encuentra la Av. Industrial que como su propio nombre lo indica es una zona netamente industrial y además se puede encontrar los distrito de Ciudad Nueva y Alto de la Alianza que hoy en día es forman parte de la ciudad de Tacna, al extremo nor-este de la ciudad se encuentran la universidad privada de Tacna (distrito de Pollocay), y una gran zona residencial (urbanizaciones como: Sta. Elena, La Arboleda, La Molina, El Rosario, etc.) además de la Av. Circunvalación Sur.

En este caso se contara con una torre ventada (*greenfield* - Figura 3.3) de 25m de altura. El *site* recibirá el nombre de POCOLLAY y estará ubicado en la Av. Basadre y Forero s/n, referencia al lado de una estación surtidora de combustible, sus coordenadas son 18° 0'10.81" latitud sur, 70°14'1.45" longitud oeste. La sectorización se distribuye como se propone en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2: Resumen nodo B – POCOLLAY

Sector	P-SC	Azimuth	downtilt	Objetivo de cobertura
1	8	125°	4°	Zona residencial y haciendas, UPT. Hasta 1.5km
2	53	250°	4°	Zona residencial. 1.5 km.
3	210	305°	5°	Zona industrial. 1 km.



Fuente: <http://www.ehas.org/>

Figura 3.3: Ejemplo de torre ventada – distribución de vientos.

En la parte sur se encuentra el distrito Coronel Gregorio Albarracín, durante el viaje se pudo constatar el rápido crecimiento de su población así como urbanización ordenada y limpia como zona residencial representa un mercado potencial atractivo además este *site* daría continuidad hacia el sur.

Para este Nodo B, se necesitará una torre ventada (*roof-top*) de 25m de altura que sumados a la edificación actual suman 30m aproximadamente. El *site* recibirá el nombre de ALBARRACIN y estará ubicado en la Calle 52 s/n sobre el local comunal de la Asociación de Vivienda Primero de Mayo, referencia al lado de la estación de bomberos, sus coordenadas son 18° 2'23.00" latitud sur, 70°15'8.99" longitud oeste. La sectorización se distribuye como se propone en la Tabla 3.3:

Tabla 3.3: Resumen nodo B – ABARRACIN

Sector	P-SC	Azimuth	downtilt	Objetivo de cobertura
1	155	5°	3.5°	Av. Municipal hasta el ovalo Circunvalación Sur, conexión con el centro de Tacna.2 km.
2	25	160°	3.5°	Zona residencial medio y poco comercial. 2 km.
3	89	250°	3°	Carretera panamericana sur, aeropuerto 2.5 km.

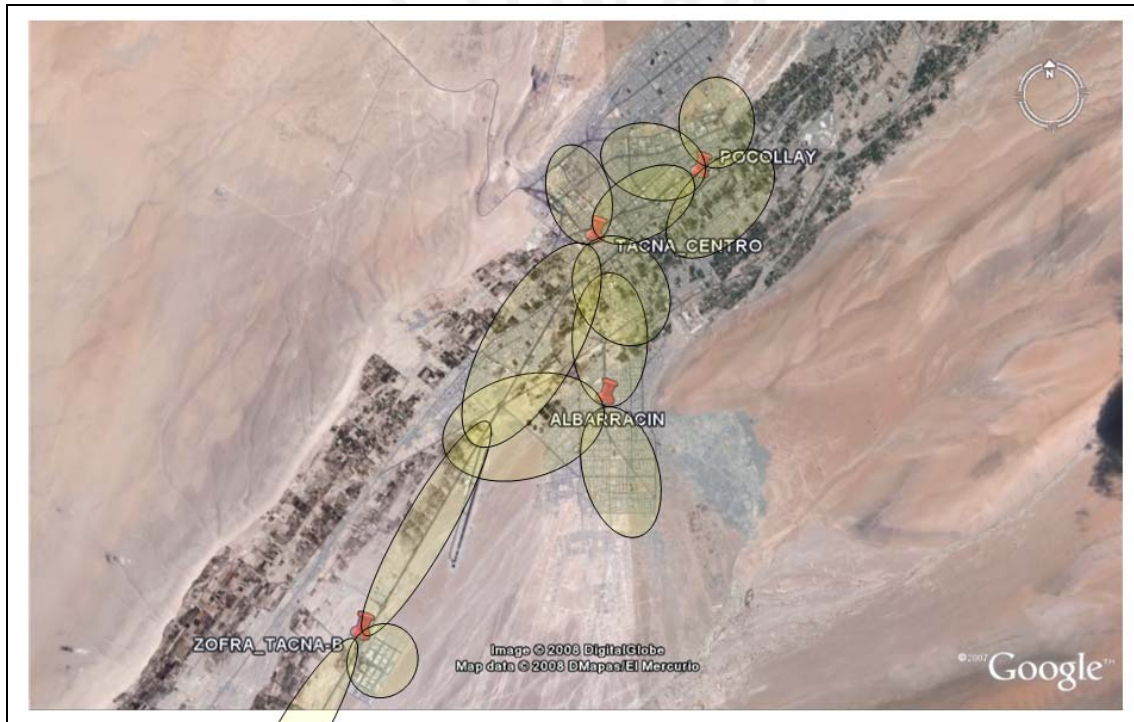
Por último, en la zona sur de la ciudad se encuentra el emporio comercial ZOFRA TACNA del cual se cuenta con el comercio de autos importados de Asia, Aduanas, Bancos, etc. [20]. Y además es camino hacia el país hermano del sur Chile que actualmente cuenta con una red de este tipo y gracias al *roaming* internacional podría hacer uso de los servicios que cuenta en su país de origen, permitiendo darle al turista las comodidades adecuadas para que se sienta a gusto.

Nuevamente haremos uso de una torre ventada (*roof-top*) de 25m de altura que sumados a la edificación actual suman 30m. El *site* recibirá el nombre de ZOFRATACNA y estará ubicado en la carretera Panamericana Sur km. 1303 s/n frente a la entrada principal de Zofra Tacna, sus coordenadas son 18° 4'38.28" latitud sur, 70°17'53.30" longitud oeste. La sectorización se distribuye como se propone a continuación:

Tabla 3.4: Resumen nodo B – ZOFRA\_TACNA

Sector	P-SC	Azimuth	downtilt	Objetivo de cobertura
1	66	45°	1°	Hacia el norte, ilumina y da continuidad hacia la ciudad hasta 4 km – carretera y aeropuerto hasta el Ovalo Tarapacá
2	109	120°	4°	Sector exclusivo para servir a Zofra Tacna máx. alcance 1 km
3	245	210°	1°	Hacia el sur cubrirá carretera panamericana hacia Chile

Para concluir e ilustrar lo escrito en líneas anteriores se coloca un grafico de la zona con la ubicación de los Nodos B y sus deseada cobertura.



Fuente: *GoogleEarth*

Figura 3.4: Cobertura deseada proyectada

La experiencia práctica nos ha demostrado que en Ingeniería de Telecomunicaciones no es necesario implementar una red al 100%, para ello existe una etapa post planificación llamada optimización de red. Por tal motivo, se dimensionará para la primera fase como se describió en el capítulo 2. En un principio se tomará en cuenta la población con mayor poder adquisitivo y el sector empresarial. Para que en una segunda fase una vez recuperada la inversión se proceda a incrementar la cobertura de adentro hacia afuera permitiendo el acceso a toda la población. Una fase final podría ser el brindar nuevos servicios y dar mayor calidad.

### 3.3 Cobertura de los Nodos B

Para calcular la cobertura descrita en el *ítem* anterior elegiremos uno de los dos modelos de propagación para comunicaciones móviles que presentamos, estos toman en cuenta diversos factores como: tipo de población (urbano, suburbano, rural), clima (atenuación por lluvias, *fading*), diversos tipos de atenuaciones (cables, *path loss*), etc. Estos son los modelos más importantes para la aplicación sobre WCDMA.

#### 3.3.1 Modelos de propagación

El uso de modelos de propagación es un requerimiento en el proceso de diseño de Radiofrecuencia (RF). Estas técnicas son usadas para determinar la atenuación de la onda de radio que atraviesa diversos obstáculos desde la antena transmisora hasta la antena receptora.

Cada modelo tiene sus ventajas y desventajas, la mayoría de operadores celulares utilizan una versión del modelo de Okumura-Hata o Cost231. Entre las ventajas o atributos que afectan positivamente a la cobertura podemos nombrar la sensibilidad del receptor, la potencia de transmisión, la ganancia de la antena, la altura de la torre, etc. Así mismo, existen factores negativos como atenuación de cables, árboles, edificios, ruido eléctrico, ruido natural, patrones de antena distorsionados, baja eficiencia de antena, por nombrar algunos.[36]

Uno de los puntos importantes a tomar en cuenta para la definición del modelo es la morfología, están pueden ser: urbano denso, urbano, suburbano y rural.

A continuación se describen dos métodos más utilizados y recomendados por la UIT-R, que son los propuestos para ser utilizados en la presente tesis.

##### 3.3.1.1 MODELO DE OKUMURA-HATA

Es una fórmula empírica de los datos de las pérdidas de propagación provistos por Okumura (Japón) y es válido en el rango de la frecuencia de VHF y UHF, entre los 150 y 1500 MHz. Hata agregó las pérdidas dentro de un área urbana. De estas mediciones se obtuvieron curvas de la intensidad de campo para medio urbano y diferentes alturas efectivas de antenas para las bandas de 150, 450 y 1900 MHz y una potencia radiada de 1KW. La altura de la antena receptora es de 1.5 m., valor típico en aplicaciones móviles [3].



El modelo de OKUMURA-HATA calcula la atenuación tomando en cuenta el porcentaje de edificios en el trayecto Tx-Rx, así como características del terreno. Para entorno urbano tenemos:

$$L_{\text{urbano}}(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(h_{te}) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d$$

Donde

$f_c$  : frecuencia de la portadora [MHz]

$h_{te}$  : altura de la antena transmisora en rango 30 a 200 m

$h_{re}$  : altura de la antena receptora en rango 1 a 10 m

$a(h_{re})$  : factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil que esta en función del tipo de área de servicio.

$d$  : distancia entre transmisor y receptor [Km.]

Como se puede observar, involucra una nueva variable  $a(h_{re})$  que es el factor de corrección y se define según el tamaño de la ciudad:

- Para ciudades pequeñas y medianas:

$$a(h_{re}) = (1.1 \log f_c - 0.7) h_{re} - (1.56 \log f_c - 0.8) \quad \text{dB}$$

- Para ciudades grandes:

$$a(h_{re}) = 8.29(\log 1.54 h_{re})^2 - 1.1 \quad \text{dB} \quad \text{para } f_c < 300\text{MHz}$$

$$a(h_{re}) = 3.2(\log 11.75 h_{re})^2 - 4.97 \quad \text{dB} \quad \text{para } f_c > 300\text{MHz}$$

- Para ambientes Sub-urbanos:

$$L(\text{dB}) = L_{\text{urbano}}(\text{dB}) - 2 [\log(f_c / 28)]^2 - 5.4$$

- Para áreas Rurales

$$L(\text{dB}) = L_{\text{urbano}}(\text{dB}) - 4.78 (\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c - 40.94$$

Este modelo se adapta muy bien para el diseño de sistemas de gran escala, pero no para sistemas PCS, los cuales tienen células del orden de 1 Km. de radio, para este efecto se hace una formulación numérico-empírica de los datos entregados por Okumura de la atenuación para zonas urbana.

### 3.3.1.2 MODELO DE COST-231

Modelo o método propuesto por un grupo de trabajo europeo con el objetivo de mejorar las predicciones que se obtienen en el método anteriormente mencionado.

Se puede aplicar a los siguientes entornos:

a. Celdas grandes y pequeñas. La antena de la estación base se sitúa por encima de los tejados de los edificios, en cuyo caso las pérdidas de propagación están determinadas principalmente por la difracción y la dispersión en los tejados de los edificios cercanos al móvil.

b. Micro celdas. La antena de la estación base se sitúa por debajo de los tejados de los edificios, estando entonces determinada la propagación por la difracción y la dispersión alrededor de los edificios, los rayos principales se propagan en las calles de manera similar a como lo harían en grandes guías de onda.

Este modelo se ha validado para frecuencias en las bandas de 900 y 1800MHz y para distancias de 10m a 3Km. En cuanto la exactitud puede indicarse que es aceptable cuando  $h_B > h_R$ . En cambio cuando  $h_B \ll h_R$  el error de predicción es mayor ya que aparecen modos de propagación no considerados en el modelo como son el efecto de guía de onda por las calles y la difracción en las esquinas. Así mismo debe utilizarse con precaución cuando  $h_B < h_R$  ya que no se tienen las suficientes mediciones para validarlo.

La atenuación consta de tres términos.  $L_b = L_o + L_{rst} + L_{msd}$

$L_o$  : Perdida del espacio libre

$L_{rst}$  : Perdida por difracción y dispersión del techo a la calle

$L_{msd}$  : Perdida por difracción multi-pantalla

Perdida del espacio libre ( $L_o$ ): Formula obtenida del factor  $20 \log (4 \pi d / \lambda )$  de la ecuación de Friis, que convertido a decibeles (dB) se muestra a continuación:

$$L_o = 32.46 + 20 \log (f_c) + 20 \log (d)$$

Donde:

$f_c$ : Frecuencia de portadora en MHz.

$d$ : Distancia entre transmisor y receptor (1 a 20Km)

Perdida por difracción y dispersión del techo a la calle ( $L_{rst}$ )

$$L_{rst} = -16.9 - 10 \log(\mathbf{W}) + 10 \log(f_c) + 20 \log(\Delta h_R) + L_{ori}$$

$\mathbf{W}$ : Ancho de la calle, se puede considerar la mitad de la separación de edificios ( $b$ )

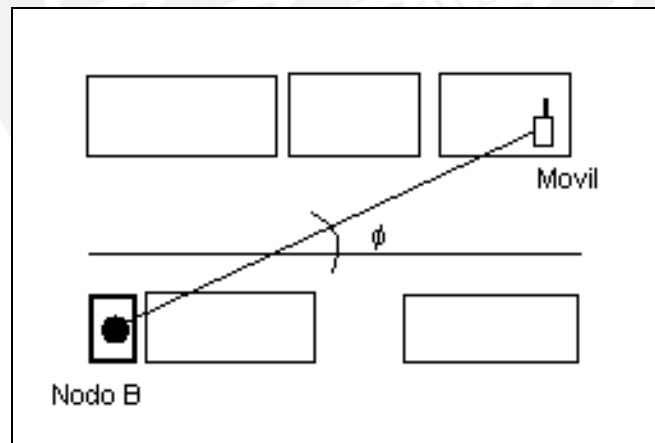
$W = b/2$ . También se puede considerar  $b = (20 \text{ a } 50\text{m})$

$\Delta h_R = h_R - h_m$ , donde  $h_R = 3\text{m} \times N^\circ$  de pisos, es la altura de los edificios

$h_m$ : altura de la estación móvil, se asume 1.5m

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.357 \phi & 0^\circ < \phi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075 \phi & 35^\circ < \phi < 55^\circ \\ 4 - 0.114 (\phi - 55) & 55^\circ < \phi < 90^\circ \end{cases}$$

Donde:  $\phi$  es el ángulo entre el rayo directo y el eje de la calle (figura 3.5)



Elaboración propia

Figura 3.5: Ángulo entre rayo directo y el eje horizontal a la calle.(vista desde arriba)

Perdida por difracción multi-pantalla ( $L_{msd}$ ): si este valor es menor a cero, se toma el  $L_{msd}$  igual a cero.

$$L_{msd} = L_{bsh} + K_a + K_d \log(d) + K_f \log(f_c) - 9 \log(b)$$

$L_{bsh} = -18 \log(1 + \Delta h_B)$ , donde  $\Delta h_B = h_B - h_R$ , si  $\Delta h_B < 0$  entonces  $L_{bsh} = 0$

$h_B$  : altura de la antena ,  $h_R$  : altura de los edificios

$$K_a = 54 \quad \Delta h_B > 0$$

$$= 54 - 0.8 \Delta h_B \quad \Delta h_B < 0 \text{ y } d > 0.5$$

$$= 54 - 1.6 \Delta h_B \cdot d \quad \Delta h_B < 0 \text{ y } d < 0.5$$

$$K_d = 18 \quad \Delta h_B > 0$$

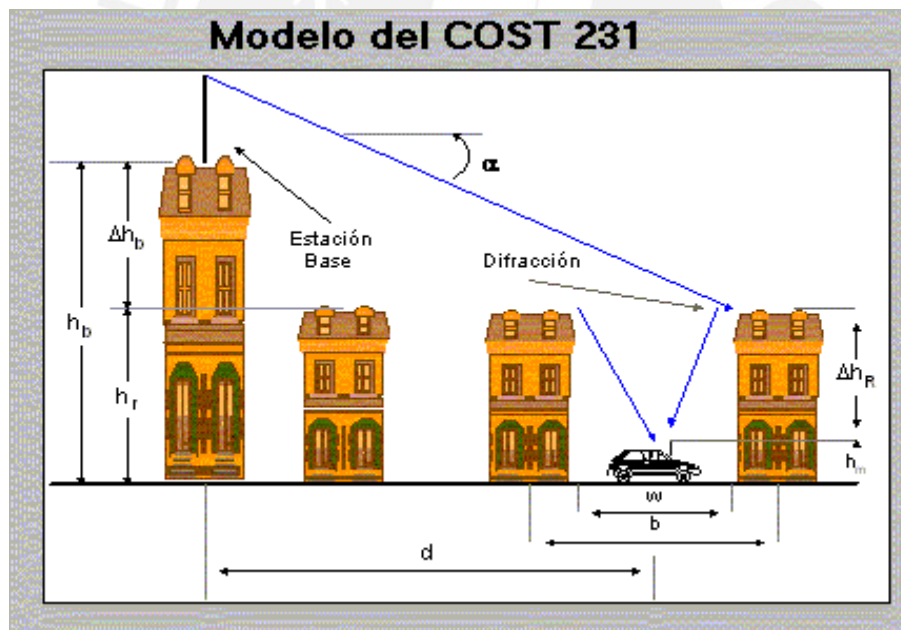
$$= 18 - 15 \Delta h_B / h_R \quad \Delta h_B < 0$$

$K_f = -4 + 0.7 [(f_c / 925) - 1]$ , para ciudades medianas y centros suburbanos

$K_f = -4 + 1.5 [(f_c / 925) - 1]$ , para ciudades metropolitanas

$K_a$ : representa el incremento de perdidas de propagación en el caso en que las antenas de las estaciones base estén por debajo de los edificios adyacentes.

$K_d$  y  $K_f$ : ajustan la dependencia de la difracción en función de la distancia y la frecuencia.



Fuente: Radiocom. – E.T.S.I.. Telecomunicaciones Madrid.

Figura 3.6: Parámetros de las pérdidas por difracción

Ahora si, podemos realizar los cálculos respectivos de la atenuación por propagación, en cada celda. Se tomara el peor de los casos de cada *site*, la mayor distancia y peor atenuación, para asegurar que se tiene cobertura en las distancias inferiores al valor tomado.

Elegiremos el segundo método de propagación pues este se adapta mejor a las necesidades y características de una ciudad como Tacna. Además de tomar mayores detalles sobre la pérdida de propagación móvil y así hacer que el calculo sea mas cercano a la realidad.

Para el primer *site* ZOFRA\_TACNA tenemos dos tipos de escenario. El primero presenta una morfología de un terreno rural pues no tiene obstáculos, es para dar cobertura a la carretera y el aeropuerto (primer y tercer sector). Y el segundo presenta infraestructuras de muy poca densidad, que podríamos caracterizar como sub-urbano (segundo sector). Así pues tenemos, el siguiente cuadro con los resultados del análisis.

Tabla 3.5: Parámetros para el enlace de *uplink*.

UPLINK ( 898MHz)

	UNID.	VALOR		UNID.	VALOR
<b>Transmisor (UE)</b>			<b>Receptor (Nodo B)</b>		
Potencia de TX (0,6W)	dBm	27.7815	Sensibilidad	dBm	-126,2
Ganancia de Antena	dBi	0	Ganancia de Antena	dBi	15
Atenuación del cuerpo	dB	3	perdida del cable (10m)	dB	1.5
PIRE	dBm	24.7815	perdida de conectores	dB	0

Perdida del espacio para el primer escenario:

$$L_b = L_o + L_{rst} + L_{msd}$$

$$L_o = 32,46 + 20 \log (898) + 20 \log (4) = 103.567 \text{ dB}$$

$$L_{rst} = 0$$

$$L_{msd} = 0$$

Al no estar en un escenario de ciudad se pueden minimizar las perdidas de tipo *multipath* y/o interferencia.

Hallando la potencia de recepción sobre la distancia máxima de cobertura deseada:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_b - L_{cables}$$

$$P_{Rx} = 24.7815 + 15 + 0 - 103.567 - 1.5$$

$P_{Rx} = -65.2855 \text{ dBm}$ , la sensibilidad del equipo receptor es de  $-126.2 \text{ dBm}$ , es decir, que el enlace si se pudiese realizar pues esta llegando una mayor potencia a la mínima aceptada por el equipo receptor.



Ahora tenemos el segundo escenario, donde los parámetros de atenuación por multicamino serán diferentes a cero. Así tenemos:

$$L_b = L_o + L_{rst} + L_{msd}$$

$$L_o = 32,46 + 20 \log (898) + 20 \log (2) = 97.5461 \text{ dB}$$

$$L_{rst} = -16.9 - 10 \log (W) + 10 \log (898) + 20 \log (\Delta h_R) + L_{ori} = 26.009 \text{ dB}$$

Donde:  $W = 10 \text{ m}$ ;  $\Delta h_R = 7.5 \text{ m}$  ,  $L_{ori} = 2.5 + 0.075 \times (45^\circ)$

$$L_{msd} = L_{bsh} + K_a + K_d \log (2) + K_f \log (898) - 9 \log (b) = - 45.0636 = 0$$

Donde:  $L_{bsh} = - 18 \log (1 + \Delta h_B) = - 23.0176$ ,  $K_a = 54$ ,  $\Delta h_B = 18$ ,  $K_d = 18$ ,  $K_f = - 4 + 0.7 [(898/925) - 1] = - 4.02043$ ,  $b = 20\text{m}$

Entonces  $L_b = 97.5461 + 26.009 + 0 = 123.555$

Luego  $P_{Rx} = 24.7815 + 0 + 15 - 123.555 - 1.5 = - 85.2685 \text{ dBm}$ . De la misma manera que en el caso anterior, el enlace esta asegurado pues la potencia que llega al receptor es mayor a la máxima sensibilidad del equipo. Como podemos apreciar la atenuación es mayor debido a que se presenta mayor densidad urbana.

De manera similar se realizara el enlace de bajada o *downlink* desde el Nodo B hacia el equipo móvil receptor. Los datos son los siguientes:

Tabla 3.6: Parámetros para el enlace de *downlink*.

**DOWNLINK ( 943 MHz )**

	UNID.	VALOR
<b>Transmisor (Nodo B)</b>		
Potencia de TX (40W)	dBm	46,0206
Ganancia de Antena	dBi	15
Atenuación del cable	dB	1,5
PIRE	dBm	59.5206

	UNID.	VALOR
<b>Receptor (UE)</b>		
Sensibilidad	dBm	-95
Ganancia de Antena	dBi	0
Atenuación del cuerpo	dB	3

Calcularemos la perdida del espacio para el primer escenario o primer sector:

$$L_b = L_o + L_{rst} + L_{msd}$$

$$L_o = 32,46 + 20 \log (943) + 20 \cdot \text{LOG}(4) = 103.991 \text{ dB}$$

$$L_{rst} = 0$$

$$L_{msd} = 0$$

Hallando la potencia de recepción sobre la distancia máxima de cobertura deseada:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_b - L_{cables}$$

$$P_{Rx} = 46.0206 + 15 + 0 - 103.991 - 1.5$$

$P_{Rx} = -44.4704$  dBm, la sensibilidad del equipo receptor es de  $-95$  dBm, es decir, que el enlace si se pudiese realizar pues esta llegando una potencia mayor a la mínima aceptada por el equipo receptor, en este caso el Terminal móvil.

Ahora nuevamente el segundo escenario:

$$L_b = L_o + L_{rst} + L_{msd}$$

$$L_o = 32,46 + 20 \log(943) + 20 \log(2) = 97.9708 \text{ dB}$$

$$L_{rst} = -16.9 - 10 \log(W) + 10 \log(943) + 20 \log(\Delta h_R) + L_{ori} = 26.2213 \text{ dB}$$

$$\text{Donde: } W = 10 \text{ m, } \Delta h_R = 7.5 \text{ m, } L_{ori} = 2.5 + 0.075 \times (45^\circ)$$

$$L_{msd} = L_{bsh} + K_a + K_d \log(2) + K_f \log(943) - 9 \log(b) = -42.8169 = 0$$

$$\text{Donde: } L_{bsh} = -18 \log(1 + \Delta h_B) = -23.0176, \quad K_a = 54, \quad \Delta h_B = 18, \quad K_d = 18, \quad K_f = -4 + 0.7 [(\mathbf{898}/925) - 1] = -4.02043, \quad b = 20 \text{ m}$$

$$\text{Entonces } L_b = 97.9708 + 26.2213 + 0 = 124.192$$

Luego  $P_{Rx} = 46.0206 + 0 + 15 - 124.192 - 1.5 = -64.6714$  dBm. Así pues se verifica que el enlace será exitoso, pues aunque es una potencia menor a la obtenida para el *downlink* en el otro sector cumple con ser mayor a la sensibilidad que equipo móvil estándar ( $-95$  dBm).

Los cálculos deben hacerse tal como se ha hecho anteriormente, teniendo en cuenta el tipo de morfología del terreno pues mientras mayor densidad urbana encontremos entre transmisor y receptor, la atenuación se irá incrementando.

De la misma manera se realizaron los cálculos para los tres *sites* restantes, tomando en cuenta los cambios necesarios, se presentan los siguientes cuadros resumen. Los datos de las tablas 3.1 y 3.2 se mantienen constantes, lo que variara será las pérdidas de propagación en cada *site* por sector. Teniendo en cuenta los siguientes datos adicionales:

Tabla 3.7: Parámetros estáticos de los *sites* restantes.

Site Name	Sector	Altura de torre (m)	Máxima distancia a cubrir (Km.)	Altura de edificios(m)
TACNA_CENTRO	1	30	1,5	24
	2		1,6	24
	3		3	9
	4		1,6	9
POCOLLAY	1	25	1,5	9
	2		1,5	6
	3		1	9
ALBARRACIN	1	30	2	9
	2		2	6
	3		2,5	3

Para *uplink* la frecuencia utilizada como portadora es 898MHz con un ancho de banda de 5Mhz, como es utilizado en WCDMA.

Tabla 3.8: Potencia de recepción en el limite del *uplink*

Site Name	Sector	$L_o$	$L_{rst}$	$L_{msd}$	$L_b$	$P_{Rx}$
TACNA_CENTRO	1	95,05	21,89	24,58	141,52	-103,24
	2	95,61	21,89	25,09	142,59	-104,31
	3	101,07	9,34	21,87	132,28	-94,00
	4	95,61	10,13	14,83	120,57	-82,29
POCOLLAY	1	95,05	10,13	17,92	123,11	-84,82
	2	95,05	6,67	18,78	120,50	-82,22
	3	91,53	9,86	16,95	118,34	-80,06
ALBARRACIN	1	97,55	4,67	19,42	121,64	-83,35
	2	97,55	5,70	18,49	121,73	-83,45
	3	99,48	0,00	16,64	116,12	-77,84

De la misma manera para el *downlink* la frecuencia utilizada como portadora en este caso es 943 MHz con un ancho de banda de 5Mhz.

Tabla 3.9: Potencia de recepción en el límite del *downlink*

Site Name	Sector	$L_o$	$L_{rst}$	$L_{msd}$	$L_b$	$P_{Rx}$
TACNA_CENTRO	1	95,47	22,11	60,94	178,52	-107,49
	2	96,03	22,11	61,35	179,49	-108,47
	3	101,49	9,55	50,54	161,58	-99,56
	4	96,03	10,35	47,29	153,67	-92,65
POCOLLAY	1	95,47	10,35	46,88	152,70	-91,68
	2	95,47	6,88	45,31	147,66	-86,64
	3	91,95	10,07	45,20	147,23	-86,21
ALBARRACIN	1	97,97	10,35	48,70	157,01	-95,99
	2	97,97	5,91	46,22	150,10	-89,08
	3	99,91	0,00	42,19	142,10	-81,08

Analizando las tablas 3.3 y 3.4 concluimos que para el enlace de *uplink* los tres *sites* cumplen con tener mayor potencia de recepción que la sensibilidad del Nodo B (-126.2dBm). Caso contrario a lo ocurrido en el cálculo del enlace *downlink* pues la potencia de recepción del primer sector del *site* ALBARRACIN no cumple con ser mayor a la sensibilidad de un terminal móvil estándar (-95dBm).

De la misma manera tres sectores del *site* TACNA\_CENTRO no cumplen con dicha premisa por lo que es necesario colocar amplificadores TMA (*tower mounted amplifier* de +12dBm) para mejorar el enlace de subida de ser necesario pues la estación móvil tiene sus limitaciones en cuanto a potencia. Entonces los enlaces quedarían tal como se muestra en la tabla 3.5, donde todas los niveles de recepción cumplen con ser mayores que -126.2 dBm para el Nodo B o -95 dBm para el UE.

Tabla 3.10: Potencia de recepción con TMA

Site Name	Sector	$P_{Rx}$ UL	$P_{Rx}$ DL
TACNA_CENTRO	1	-103,24	-95,49
	2	-104,31	-96,47
	3	-94,00	-87,56
	4	-82,29	-80,65
POCOLLAY	1	-84,82	-79,68
	2	-82,22	-74,64
	3	-80,06	-74,21
ALBARRACIN	1	-83,35	-83,99
	2	-83,45	-77,08
	3	-65,84	-81,08

NOTA: Es importante que los cables, las antenas y los conectores tengan una impedancia de 50 ohm. Para no crean atenuaciones por des-adaptación de impedancia, reflexiones no deseadas y así lograr la máxima transferencia de potencia de la antena al nodo B y viceversa.

Para complementar, según el estudio realizado por la escuela de graduados de la Universidad Asunción de Tailandia, utilizando un método de propagación similar COST-231 Walfish-Ikegami tenemos en resumen [32]:

Tabla 3.11: Distancias máximas de cobertura según entorno y servicio

Entorno	Cobertura para 144kbps	Cobertura para 384kbps
Urbano <i>outdoor</i>	2.00 Km.	1.50 Km.
Urbano en auto	1.30 Km.	1.15 Km.
Urbano <i>indoor</i>	0.55 Km.	0.50 Km.

Con estos datos adicionales podemos corroborar nuestros cálculos realizados para el *uplink* y *downlink* en nuestra red 3G.

### 3.3.2 Determinación de la capacidad de los Nodos B

En los sistemas de 3G, como UMTS, la limitación del radio celular por propagación radio se encuentra altamente interrelacionada con la limitación por tráfico de usuario. Esto se debe a que el sistema WCDMA es un sistema limitado por interferencia, *soft blocking*, es decir, que la interferencia total depende del número de usuarios activos en la célula, esto se relaciona con el concepto de “respiro de la celda” para CDMA. Por otra parte el sistema UMTS se define como multi-servicio, por lo que el radio celular debe ser calculado teniendo en cuenta estas características. Cada servicio tiene características particulares en cuanto a tasa de transmisión (kbps). Así pues se ofrecerán los siguientes servicios:[32]

Tabla 3.12: Niveles de sensibilidad del Nodo B según el servicio ofrecido.

Servicio	Nivel de sensibilidad
Voz AMR 12.2kbps	-126.2 dBm
Video llamada 64kbps	-121 dBm
Datos a 144kbps	-120 dBm
Datos a 348kbps	-115 dBm

Fuente: Documentación interna América Móviles del Perú - Huawei



En la tabla 3.6 se muestran los servicios que tomaremos en cuenta y también los valores de sensibilidad mínimos necesarios en el Nodo B para dichos servicios, con lo cual podemos deducir que la voz es el servicio que llegará mas lejos para ser atendido, lo mismo no ocurre con la video-llamada o los datos que se limitan a la cercanía del *site*.

En sistemas como WCDMA, para distinguir a los usuarios y los sectores de una misma celda se utilizan los códigos OVSF y los *Scrambling codes*, respectivamente.

### 3.3.2.1 Planes de servicio final al usuario

Para poder empezar con los cálculos de capacidad de cada nodo B es necesario definir los planes que el usuario final tendrá como servicio

#### ***Plan Business\****

Este plan esta creados para jóvenes empresarios, para nuevas empresas de la zona centro y la zona comercial de Tacna. Incluye servicio de voz hasta 200 min. mensuales (*on-net*). Con facilidad de 50 video-llamadas mensuales (1min. cada una), para reuniones o videoconferencias. Una conexión de banda ancha con una velocidad asegurada de 348kbps con un consumo mínimo (*downlink*) de 300 *Mbytes*.

#### ***Plan Internet\****

Plan creado para escolares o universitarios que requieren de un *downlink* limitado pues necesitan hacer trabajos pero normalmente no lo hacen en movimiento, sino en sus casas o su centro de estudio. Para aquellos hogares que estén en la cercanía de los nodos B también podrán contar con conexión de banda ancha de 348kbps, y aquellos que estén más alejados con una conexión de 144kbps. Con consumo mínimo de 500 *Mbytes* y 200 *Mbytes*, respectivamente. Los *bytes* adicionales se cobraran según lo estipulado en el contrato.

### **Plan Joven\***

Al joven tacneño se le ofrecerá 100 minutos, mensuales (*on-net*). Mas 5 video-llamadas entre sus números frecuentes. Y conexión a Internet de 144kbps, con consumo mínimo de 100 *Mbytes*, para bajar música, *ringtones*, búsquedas en *google*, *messenger*, etc.

\* Todos los planes son de cargo fijo, contrato o post-pago. No incluyen los equipos terminales los cuales son pagados por el usuario al firmar el contrato.

Tabla 3.13: Resumen de los planes ofrecidos

Servicios	Plan <b>Business</b>	Plan <b>Internet</b>	Plan <b>Joven</b>
Voz	200 min.	NO	100 min.
Video llamada	15 min.	NO	5 min.
Datos 144kbps	NO	200Mb	100Mb
Datos 384kbps	300Mb	500Mb	NO
Costo mensual	\$100	\$50 y \$75	\$30
Clasificación	A	B	C

Una vez definidos los planes se pasara a estimar el mercado potencial según las zonas que en capítulo anterior se detallaron. Teniendo en cuenta que la población total del departamento de Tacna es de 274 496 habitantes y que de ellos aproximadamente el 90% vive en la provincia de Tacna. Además tenemos que a marzo 2007 los usuarios de telefonía móvil en el departamento es de 162 826, eso quiere decir que casi el 60% de la población cuenta con servicio de telefonía móvil. Como dato adicional la PEA en Tacna la componen aproximadamente 170 000 habitantes, eso quiere decir que todo aquel que trabaja tiene un terminal móvil.

Haciendo un pequeño análisis, se sabe que en nuestro país el 80% de los usuarios de telefonía móvil son prepago. Este servicio esta dirigido para usuarios post-pago o contrato, con lo cual nuestro mercado será el 20% de 162 826 usuarios, lo que da un aproximado de 32 500 usuarios. Para nuestro periodo de análisis, 5 años, se tomara en cuenta dicha cifra para no sobre dimensionar, ni sobrepasar el mercado potencial.

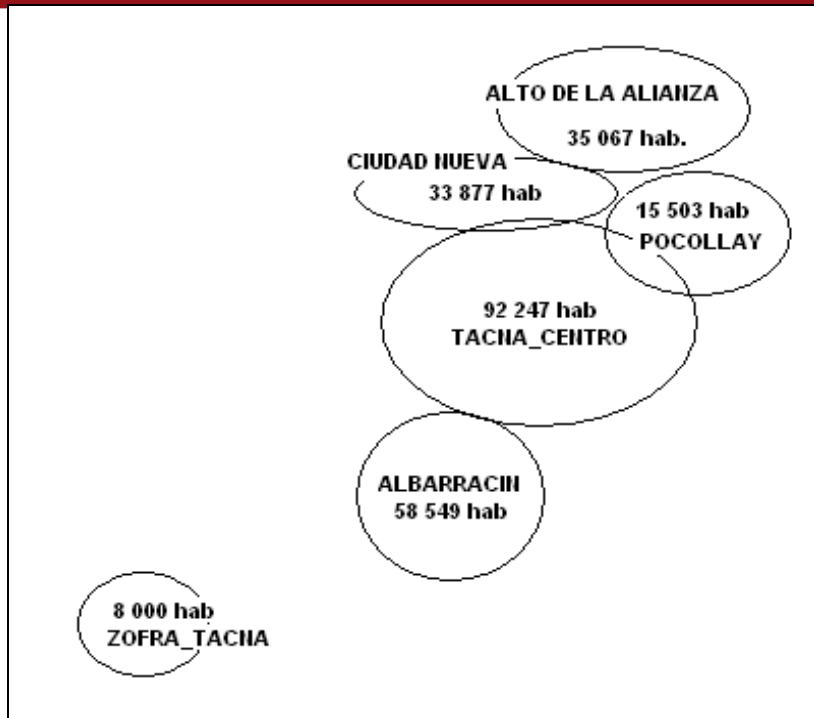


Figura 3.7: Distribución de la población de la ciudad de Tacna (distritos).

Cabe resaltar que tan solo se evaluara el tráfico proyectado para la primera fase del proyecto. Entonces según la distribución de la población mostrada en la figura 3.7. Para el primer año estimaremos un mercado reducido pero creciente, según se muestra en la tabla 3.8.

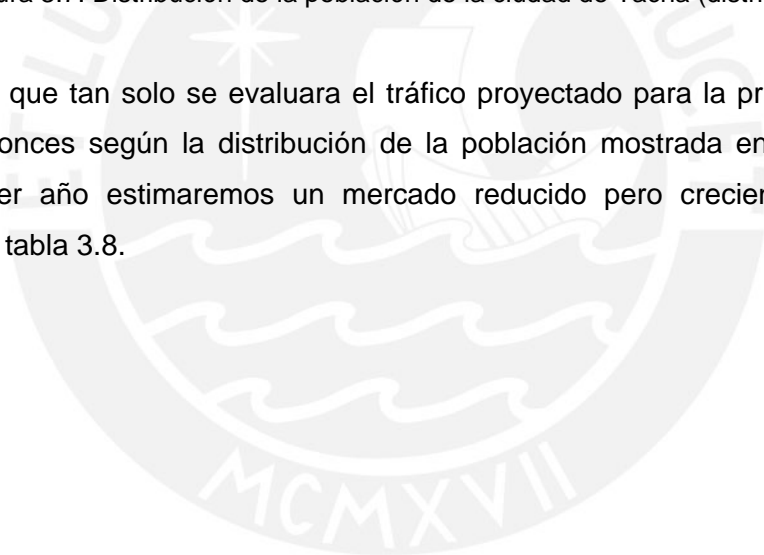


Tabla 3.14: Distribución del servicio y proyección del mercado para las dos fases del proyecto (usuarios)

Servicio contratado	PRIMERA FASE								SEGUNDA FASE											
	primer año			TOTAL	segundo año			TOTAL	tercer año			TOTAL	cuarto año			TOTAL	quinto año			TOTAL
	A	B	C		A	B	C		A	B	C		A	B	C		A	B	C	
TACNA_CENTRO	1500	1000	2500	5000	900	600	1500	8000	765	510	1275	10550	650,25	433,5	1083,75	12717,5	780,3	520,2	1300,5	15318,5
POCOLLAY	200	100	500	800	120	60	300	1280	102	51	255	1688	86,7	43,35	216,75	2034,8	104,04	52,02	260,1	2450,96
ALBARRACIN	700	700	1600	3000	420	420	960	4800	357	357	816	6330	303,45	303,45	693,6	7630,5	364,14	364,14	832,32	9191,1
ZOFRA_TACNA	450	200	150	800	270	120	90	1280	229,5	102	76,5	1688	195,08	86,7	65,025	2034,8	234,09	104,04	78,03	2450,96
CENTRO_2	/-/	/-/	/-/	/-/	/-/	/-/	/-/	/-/	70	200	800	1070	56	160	640	1926	78,4	224	896	3124,4
TACNA ENTER	/-/	/-/	/-/	/-/	/-/	/-/	/-/	/-/	30	100	500	630	18	60	300	1008	16,2	54	270	1348,2
ALTO DELA ALIANZA	/-/	/-/	/-/	/-/	/-/	/-/	/-/	/-/	10	50	700	760	4,5	22,5	315	1102	4,5	22,5	315	1444
TOTAL DE USUARIOS				9600				15360				22716				28453,6				35328,12

### 3.3.2.2 Ejemplo de Tráfico de Voz

Tomando en cuenta el primer y segundo año que son la primera fase del proyecto, para el *site* TACNA\_CENTRO tenemos:

Para el primer año el Plan A, tiene 1500 usuarios que consumen 200 minutos mensuales cada uno, es decir al día consumen 6.6 minutos, ya sea en una llamada larga o varias cortas. Así mismo el usuario del Plan C, en esta caso 2500 usuarios, consume 100 minutos mensuales cada uno, por lo tanto al día debe consumir una llamada de 3.3 minutos o 2 llamadas cortas. Se realizará el cálculo de tráfico para la hora cargada, donde se conectan al menos el 10% de los usuarios. Entonces

$$\text{TRÁFICO} = \frac{150 \text{ User A} \times 6.6 \text{ min.} + 250 \text{ User C} \times 3.3 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 30.25 \text{ Erl.}$$

Según las tablas de Erlang B (ANEXO E), para un bloqueo máximo del 2% se es necesario 40 conexiones o canales de tráfico. Esto es equivalente a tener 2 E1. Cabe resaltar que dicho valor del 2% cumple los valores establecidos en el Reglamento de Calidad de los Servicios Públicos de Telecomunicaciones. [37]

Según el cual establece un valor menor o igual a 3% para la tasa de intentos no establecidos (TINE) y 2% para la tasa de llamadas interrumpidas (TLLI) o corte de llamadas para el promedio anual.

Para el segundo año, como es de esperarse el tráfico crecerá, así pues tenemos que el número de usuarios del Plan A se incrementara a 2400 usuarios y el Plan C llegara a 4000 usuarios. Así pues, se mantienen las características de los planes entonces su tráfico en la Hora Cargada (*Busy Hour*) será:

$$\text{TRÁFICO} = \frac{240 \text{ User A} \times 6.6 \text{ min.} + 400 \text{ User C} \times 3.3 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 48.4 \text{ Erl}$$

Según las tablas de Erlang B (ANEXO E), para un bloqueo máximo del 2% se es necesario 62 conexiones o canales de tráfico. Esto es equivalente a tener 3 E1.



### 3.3.2.1 Ejemplo de Tráfico de datos

Tanto la video-llamada como la voz son servicios de conmutación de circuitos, aunque tiene distinto *bit-rate* y diferencias en  $E_c / I_0$ , se hizo el calculo de la voz por ser este servicio el de mayor trafico. La siguiente tabla muestra el tráfico máximo que puede recibir una portadora WCDMA dependiendo el servicio ofrecido.

Tabla 3.15: Máximo de códigos disponibles, según servicio

servicio ofrecido	tasa de transferencia kbps	códigos OVSF disponibles	tráfico en Erlang @ 2% GOS
voz, AMR	12,2	125	112,3
video-llamada	64	31	22,8
data	144	15	9,01
data	384	7	2,94

Fuente: Huawei

Como se puede apreciar en dicha tabla se puede comprobar que un canal equivale a un código OVSF, en GSM un canal equivale a un *time slot* en este caso, la capacidad de la celda no dependerá de cuantas TRX tengamos instaladas sino cuantos códigos pueda ofrecer el Nodo B sin generar una interferencia tal, que cause atenuaciones mayores a las estimadas.

En la hora cargada los usuarios de voz al segundo año generarían un tráfico de 48 Erlang lo cual esta dentro del tráfico soportado por 125 códigos OVSF, que es el máximo de códigos permitidos. Luego, se estima que el número de video-llamadas en la hora cargada no será mayor a 5 usuarios simultáneos. De la misma manera los datos de bajada según la tasa de transferencia podrán ser soportadas si estas no sobrepasan los limites establecidos por sector.

Ya calculamos el tráfico de voz para los 4 sectores, 48 Erlang. Asumiendo el peor de los casos para los servicios restantes pues se estima estar en la hora cargada.

Tabla 3.16: Máximo de códigos disponibles en la hora cargada, según servicio

servicio ofrecido	% de usuarios en la hora cargada	códigos OVSF utilizados en la hora cargada	Trafico en el site en Erlang @ 2% GOS, 4 sectores
video-llamada	50%	16	9.8
Data 144 kbps	60%	9	4.3
Data 384 kbps	30%	3	0.6

Fuente: Huawei

La suma de todos los servicios 62.7 Erl, lo que equivale a 74 circuitos y esto a su vez es equivalente a 3 E1 de capacidad para el site TACNA\_CENTRO que como debemos esperar es el que concentra mayor trafico por estar en el centro de la ciudad.

### 3.3.2.3 Capacidad necesaria para los enlaces de transporte

Ahora pasaremos a calcular el tráfico en los tres *sites* restantes para saber cual será la capacidad del transporte de los enlaces microondas entre los *sites* y el NOC.

#### POCOLLAY

En este *site* se tiene tan solo 3 sectores, los cuales distribuyen el trafico de la población detallada en la tabla 3.14, para 320 usuarios tipo A y 800 usuarios tipo C. En la hora cargada el tráfico de voz seria.

$$\text{TRÁFICO} = \frac{32 \text{ User A} \times 6.6 \text{ min.} + 80 \text{ User C} \times 3.3 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 7.92 \text{ Erl}$$

Asumiendo que el tráfico cursado de datos y video-llamada es la mitad del site TACNA\_CENTRO, entonces para video-llamada tendríamos 3.627 Erlang, para datos de 144kbps tendremos 1.092 Erlang y para una conexión de 384 kbps tendremos 0.0204 Erlang. Lo cual suma un tráfico total de 12.6594 Erlang, que es equivalente a 21 canales de tráfico que se pueden transportar mediante 1 E1.

## ALBARRACIN

En este *site* también tiene 3 sectores, en los dos primeros años que dura la primera fase tenemos 1120 usuarios tipo A y 2560 usuarios tipo C. En la hora cargada (10% del máximo de usuarios) el tráfico de voz será:

$$\text{TRÁFICO} = \frac{112 \text{ User A} \times 6.6 \text{ min.} + 256 \text{ User C} \times 3.3 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 26.4 \text{ Erl}$$

Asumiendo igual tráfico cursado de datos y video-llamada que el *site* TACNA\_CENTRO, entonces para video-llamada tendríamos 9.8 Erlang, para datos de 144kbps tendremos 4.3 Erlang y para tres conexiones de 384 kbps tendremos 0.6 Erlang. Lo cual suma un tráfico total de 41.1 Erlang para lo que es necesario 51 canales, por lo tanto se necesita como mínimo transporta 2 E1.

## ZOFRA\_TACNA

Para este *site* con 3 sectores, en la primera fase tenemos 720 usuarios tipo A y 240 usuarios tipo C. En la hora cargada (10% del máximo de usuarios) el tráfico de voz será:

$$\text{TRÁFICO} = \frac{72 \text{ User A} \times 6.6 \text{ min.} + 24 \text{ User C} \times 3.3 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 9.24 \text{ Erl}$$

Asumiendo tráfico cursado de datos y video-llamada según se presenta a continuación, para video-llamada tendríamos 9.8 Erlang, para datos de 144kbps tendremos 4.3 Erlang y para 7 conexiones de 384 kbps tendremos 2.94 Erlang. Lo cual suma un tráfico total de 26.28 Erlang para lo que son necesario 35 canales, por lo tanto se necesita 2 E1.

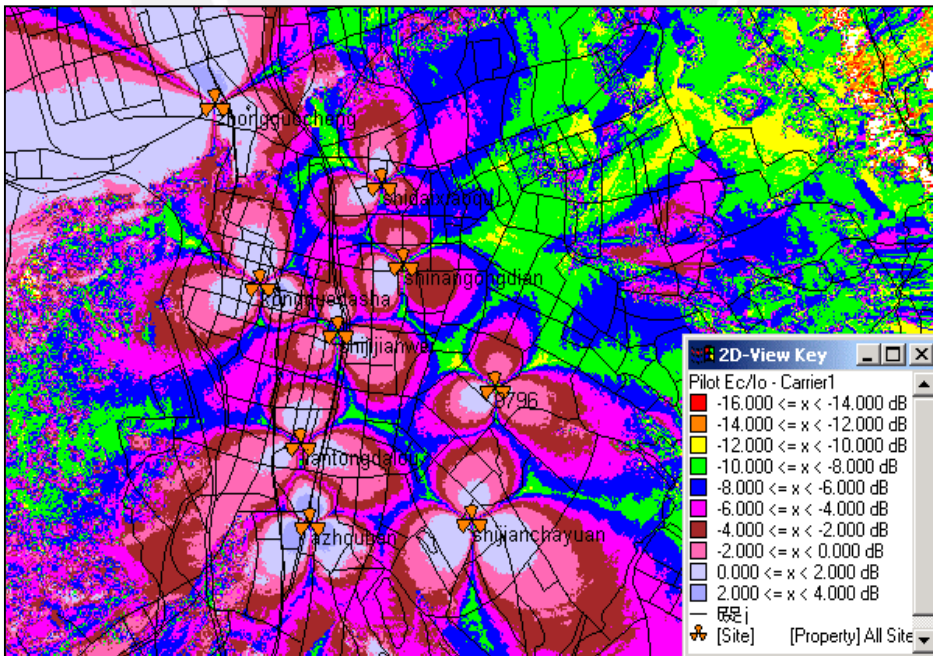
Hay muchos puntos que escapan de los objetivos de la presente tesis pero uno de ellos no puede dejar de ser nombrado. La relación  $E_c / I_0$ , referida al nivel de señal del piloto sobre el nivel de señal de ruido o interferencia (piso de ruido). Es equivalente al  $C/I$  (*carrier to interference*) para GSM. Los valores de dicho parámetro varían según el servicio y la cercanía al nodo B. Es posible que en algún software de simulación para

propagación WCDMA se pueda apreciar mejor estos parámetros y proyecciones de cobertura. (Figura 3.8)

Tabla 3.17: Potencia de piloto y valores típicos de  $E_c / I_o$

Parámetro	Cercano al site hasta 500 m.	Lejano al site hasta 1Km	Muy lejano al site entre 2 – 3 Km.
Potencia de Piloto (portadora)	-60 a -80dBm	-80 a -95dBm	-95 a -110 dBm
$E_c / I_o$	Hasta -2 dB	-2 a -5 dB	-8 a -11 dB
$E_c / I_o$ por Servicios:			7.2
Voz			
Video-llamada 64kbps:		3.8	
Datos a 144kbps	2.8		
Datos a 384kbps	3.2		

El piloto será único en cada *site* e identificara un sector de un nodo B de la red WCDMA, este numero estará relacionado a un *Scrambling code* (0-511).



Fuente: Huawei

Figura 3.8 : Simulación de propagación de la portadora WCDMA (Pilot  $E_c/I_o$ )

### 3.4 Diseño de la red de transporte

Para el análisis de la red de transporte se tuvo que investigar sobre equipos que puedan soportar altas capacidades pues en nuestro caso se llevarán altas cantidades de tráfico no solo de voz sino también de datos. Además se tiene que pensar en una configuración de 1+1, es decir, asegurar el radio enlace con un backup en paralelo, pues nuestra red al ser de tercera generación debe de tener confiabilidad y disponibilidad no solo en el acceso sino también en el transporte, para que este no sea un cuello de botella al no contar con un adecuado dimensionamiento.

En la página *web* del MTC [34], se busco información especializada para la canalización adecuada en tramos cortos. Como en nuestro caso son distancias dentro de la ciudad de Tacna para el *backhaul* de una red de telefonía móvil celular, se opto por una frecuencia alta (banda 15 GHz.) una banda licenciada por la que se tendrá que pagar el canon radioeléctrico para evitar interferencias en dicho enlace que transportara toda la información de los usuarios hacia el NOC y este último se encargara de enrutarlo, de ser necesario, a redes externas.

El equipo a utilizarse para nuestra red de transporte será el PasoLink Mx del fabricante NEC, según las especificaciones técnicas del equipo se realizó un cuadro que resume las características más resaltantes y principales para la realización del cálculo de propagación de espacio.

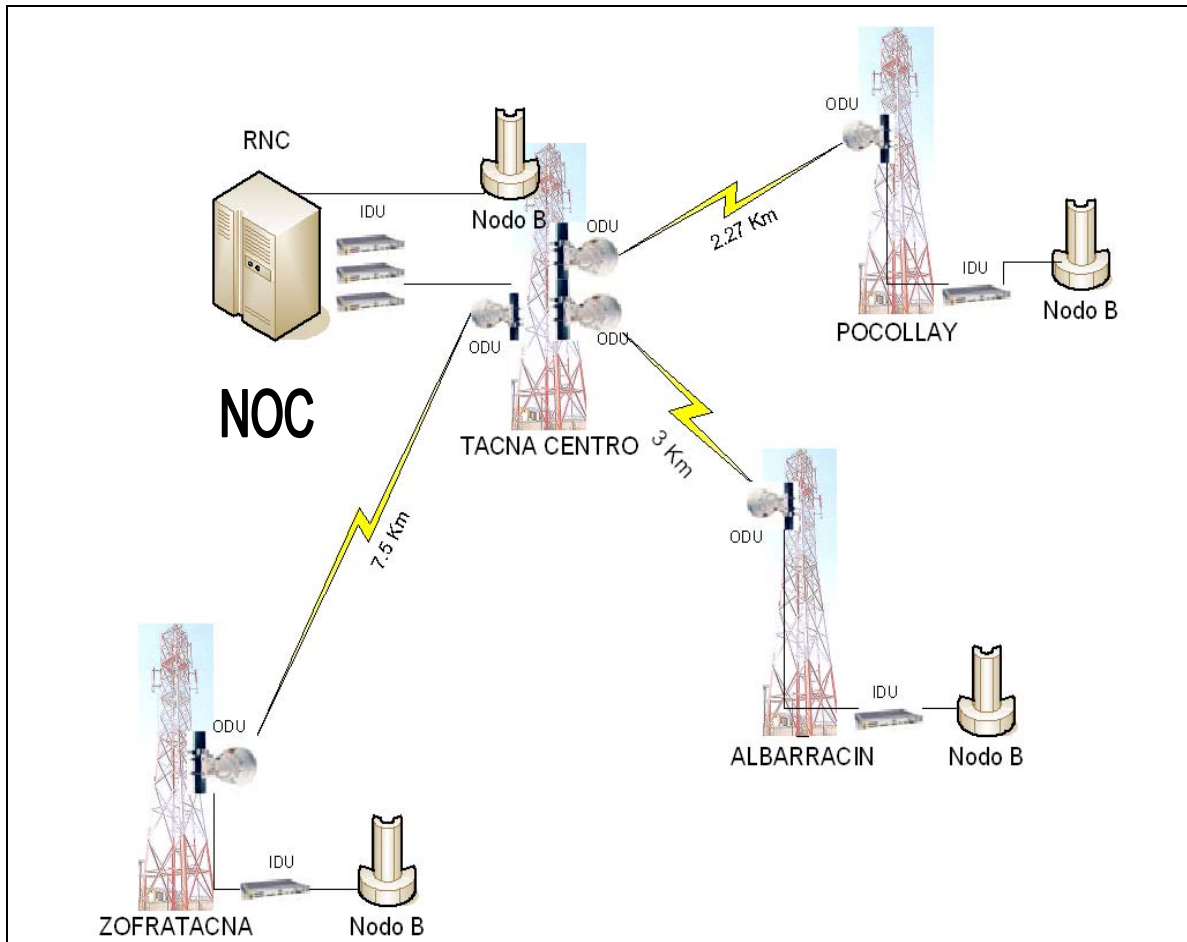
Tabla 3.18: Especificaciones técnicas PasoLink Mx

Rango de Frecuencia (GHz)		14,2 - 15,35
Modulación ( <b>5E1</b> )	QPSK	BW = 7 MHz
Potencia Tx (dBm)	QPSK	+ 23
Ganancia del sistema para un BER $10^{-6}$	QPSK	112
Sensibilidad	QPSK	- 15 dBm
Diámetro de la antena		60 cm.
Potencia de consumo ( 1 + 1 )		68 Watt

Ahora se pasará a detallar la topología escogida de tipo estrella (centralizada), la cual consta de tres enlaces. El primero de 3Km de distancia entre TACNA\_CENTRO y



ALBARRACIN. El segundo enlace de 2.27 Km. entre TACNA\_CENTRO y POCOLLAY. Y el último enlace entre TACNA\_CENTRO y ZOFRATACNA de 7.5 Km. A continuación se muestra como esta distribuida dicha red.



Elaboración propia

Figura 3.9: Red de Transporte – Topología estrella.

Una vez detallado a gran escala la distribución de la red de transporte se pasa a los cálculos respectivos se tomaran en cuenta los posibles problemas a presentarse en el enlace como desvanecimientos (*fading*), pérdida en los conectores, cables(dB/m), atenuaciones atmosféricas como lluvia, niebla, etc.

Para ello se hará uso del modelamiento para propagación en el espacio libre como debe existir línea de vista entre transmisor y receptor, las perdidas por obstáculos (difracción y reflexión) se asumirán nulas. Es por ello que se podrá modelar de la siguiente manera.

Como se vio anteriormente a cada nodo B tendrá que llegar de 2 a 4 E1 como máximo, teniendo en cuenta que el enlace de backup es paralelo, por ello se hacen los cálculos para un tráfico de 5E1 y para una modulación de QPSK.

En la canalización tendríamos que utilizar un ancho de banda de 7MHz por portadora. De la banda de 14.5 a 15.35 GHz. Los canales elegidos son:

Tabla 3.19: Canalización de frecuencias para los enlaces microondas

Canal Nº	Frecuencia (MHz)	
	Ida	Retorno
14	14 595,5	15 015,5
34	14 735,5	15 155,5
54	14 875,5	15 295,5

Con estos valores empezaremos los cálculos:

Para ello se hará uso de la ecuación de onda para propagación en el espacio libre:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_e - L_{cables} - F_m$$

Donde  $P_{Rx}$  es el nivel del receptor en dBm (nivel nominal de Rx),  $P_{Tx}$  es la potencia de transmisión de salida en dBm,  $L_{cables}$  es la pérdida de cables y conectores en decibeles,  $G_{Tx,Rx}$  son las ganancias de las antenas en dBi.

La pérdida en trayectoria por el espacio libre ( $L_e$ ) en dB, sin tomar en cuenta efectos como absorción, difracción, reflexión los cuales generan mayores atenuantes a la onda:

$$L_e = 32.4 + 20 \log f_c \text{ (Mhz)} + 20 \log d \text{ (Km)}$$

El margen de desvanecimiento o fading también se tomara en cuenta, para tener un cálculo mas aproximado a la realidad. [TOMASI, p.367]

$$F_m \text{ (dB)} = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Efecto multipath
Sensibilidad el terreno
confiabilidad
constante

Mediante este cálculo comprobaremos que el enlace punto a punto con línea de vista (sin obstáculos), esta dentro de los parámetros del fabricante.

Como se puede ver en el ANEXO D donde están las hojas de especificaciones del radio Pasolink Mx el cual se utilizaremos para el cálculo, este nos muestra un parámetro más, Ganancia del sistema ( $G_s$ ) que se define como se muestra a continuación:

$$G_s = P_{Tx} - P_{Rx \min} \geq - G_{Tx} - G_{Rx} + L_e + L_{cables} + F_m \quad (A)$$

Para el enlace TACNA\_CENTRO – ALBARRACIN tenemos los siguientes datos:

$$d = 3\text{Km}$$

$$P_{Tx} = + 23\text{dBm}$$

$$G_s = 112 \text{ dB}$$

$$L_e = 32.4 + 20 \log 14\,595.5 + 20 \log 3 = 125.227\text{dB}$$

$$L_{cables} = 1.5 \text{ dB}$$

$$F_m = 30 \log 3 + 10 \log (6 \times 1 \times 0.25 \times 14.5955) - 10 \log (1 - 0.9999) - 70 = -2.28326 \text{ dB}$$

Entonces tenemos que la potencia mínima de recepción es:  $P_{Rx \min} = -89 \text{ dBm}$

Y el máximo nivel de entrada lo da el fabricante,  $-15\text{dBm} > P_{Rx} > -89 \text{ dBm}$ . Si los cálculos son correctos entonces se tiene que cumplir la desigualdad.(A)

Tenemos  $112 \geq - 2.G + 125.227 + 1.5 - 2.28326$ , donde  $G = 25\text{dBi}$  al ser antenas iguales en Tx y Rx se coloco como  $2G$ . Entonces  $112 \geq 74.4437$ , verdadero.

$P_{Rx} = +23 + 50 - 125.227 - 1.5 - 2.28326 = - 56.0103 \text{ dBm}$ , este valor esta dentro del rango hallado anteriormente.

Nuevamente realizaremos la misma operación pero en este caso para el enlace TACNA \_CENTRO – POCOLLAY, con los siguientes datos:

$$d = 2.27 \text{ Km}$$

$$P_{Tx} = + 23\text{dBm}$$

$$G_s = 112 \text{ dB}$$

$$L_e = 32.4 + 20 \log 14\,735.5 + 20 \log 2.27 = 122.888 \text{ dB}$$

$$L_{\text{cables}} = 1.5 \text{ dB}$$

$$F_m = 30 \log 2.27 + 10 \log(6 \times 1 \times 0.25 \times 14.7355) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70 = -5.875 \text{ dB}$$

De la ganancia del sistema y la potencia de transmisión tenemos que  $P_{R_x \text{ min}} = -89 \text{ dBm}$  y el máximo nivel de potencia de entrada lo da el fabricante,  $-15 \text{ dBm}$  ( $-15 \text{ dBm} > P_{R_x} > -89 \text{ dBm}$ ). Luego se tiene que cumplir la desigualdad.

Tenemos  $112 \geq -2G + 122.888 + 1.5 - 5.875$ , donde  $G = 25 \text{ dBi}$  al ser antenas iguales en Tx y Rx se colocó como  $2G$ . Entonces  $112 \geq 68.513 \text{ dBm}$ , verdadero.

Además se comprueba mediante la siguiente fórmula:

$$P_{R_x} = +23 + 50 - 122.888 - 1.5 - 5.875 = -57.263 \text{ dBm}$$

este valor también se encuentra dentro del rango hallado anteriormente.

El último enlace es realizado entre TACNA\_CENTRO y ZOFRA\_TACNA, el enlace más largo con una distancia de  $7.5 \text{ Km}$ . y frecuencia  $14\,875.5 \text{ MHz}$ , los demás parámetros son los mismos.

$$\text{Hallando } L_e = 32.4 + 20 \log 14\,875.5 + 20 \log 7.5 = 133.351 \text{ dB}$$

$$F_m = 30 \log 7.5 + 10 \log(6 \times 1 \times 0.25 \times 14.8755) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70 = 9.7375 \text{ dB}$$

Tomando en cuenta el rango:  $-15 \text{ dBm} > P_{R_x} > -89 \text{ dBm}$  y debiendo cumplir la inecuación (A) tenemos:

$$P_{R_x} = +23 + 50 - 133.351 - 1.5 - 9.7375 = -71.5885 \text{ dBm}$$

este valor también se encuentra dentro del rango hallado anteriormente.

Como se ha podido apreciar solo se realizaron los cálculos para un solo sentido el mismo cálculo se realizó para el sentido inverso en donde cambia la frecuencia de la portadora, los resultados se muestran en la tabla 3.20:

Tabla 3.20: Potencia de recepción del enlace de retorno.

Enlace	Frecuencia (MHz)	Distancia (km.)	Path loss	fading loss	P <sub>RX</sub> (dBm)
ALBA	15015,5	3	125,4732211	-2,160051785	-56,13327285
POCO	15155,5	2,27	123,1319225	-5,752609005	-57,38453153
ZOFRA	15295,5	7,5	133,5924988	-9,858387276	-71,95088611

Nuevamente analizamos la potencia de recepción para el enlace de retorno, y podemos apreciar que en todos los casos se encuentran dentro de los parámetros establecidos por el fabricante  $-15\text{dBm} > P_{RX} > -89\text{ dBm}$

### 3.4.1 Comprobación con software de simulación del enlace

Una vez realizados los cálculos se procedió a comprobar dichos datos mediante un software que nos muestra gráficamente cada enlace así como el relieve, zona de fresnel, obstáculos, etc. Este software llamado RadioMobile nos ayudara a corroborar la teoría, mediante una simulación del enlace, el cual permite tener una mayor aproximación a la realidad.

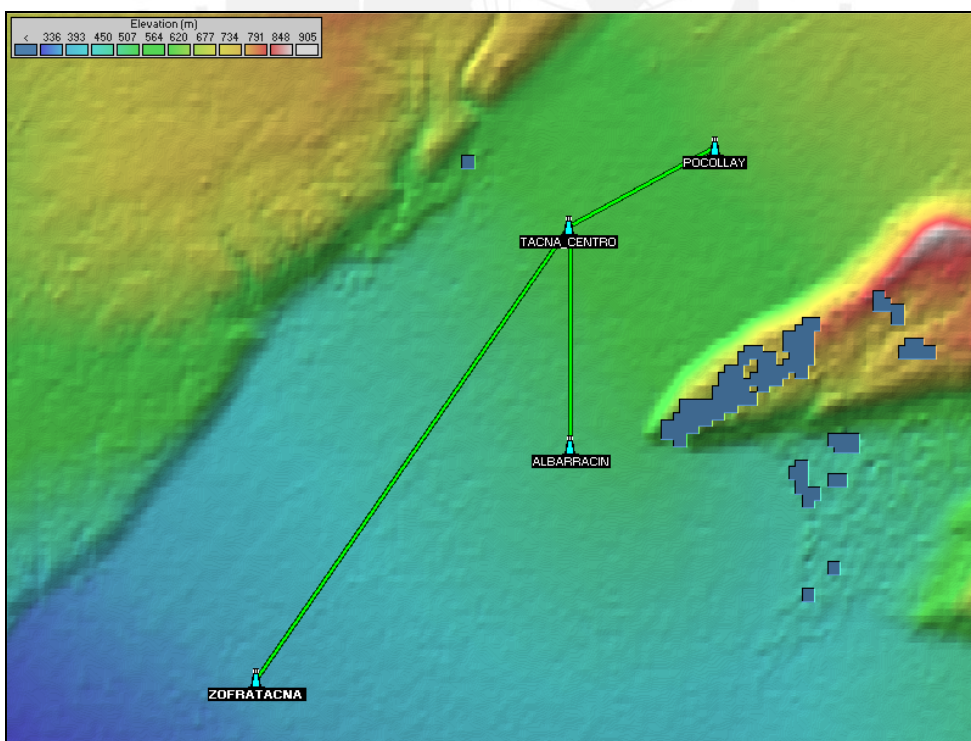


Figura 3.10: Evaluación de radio enlaces mediante RADIOMOBILE



Resultados de los enlaces se presentan en la figura 3.10 tomando en cuenta los siguientes parámetros, para una modulación QPSK:

Tabla 3.21: Parámetros introducidos en la simulación.

Rango de frecuencia	14.2 – 15.35 GHz
Polarización	Vertical
Potencia de Transmisión	+23 dBm
Sensibilidad del receptor	- 15
Ganancia del sistema para un BER de $10^{-6}$	112 dB

Y las alturas de las antenas según el *site* al que pertenecen, no sobrepasando la mitad de la torre que soportan las antenas para la red de acceso.

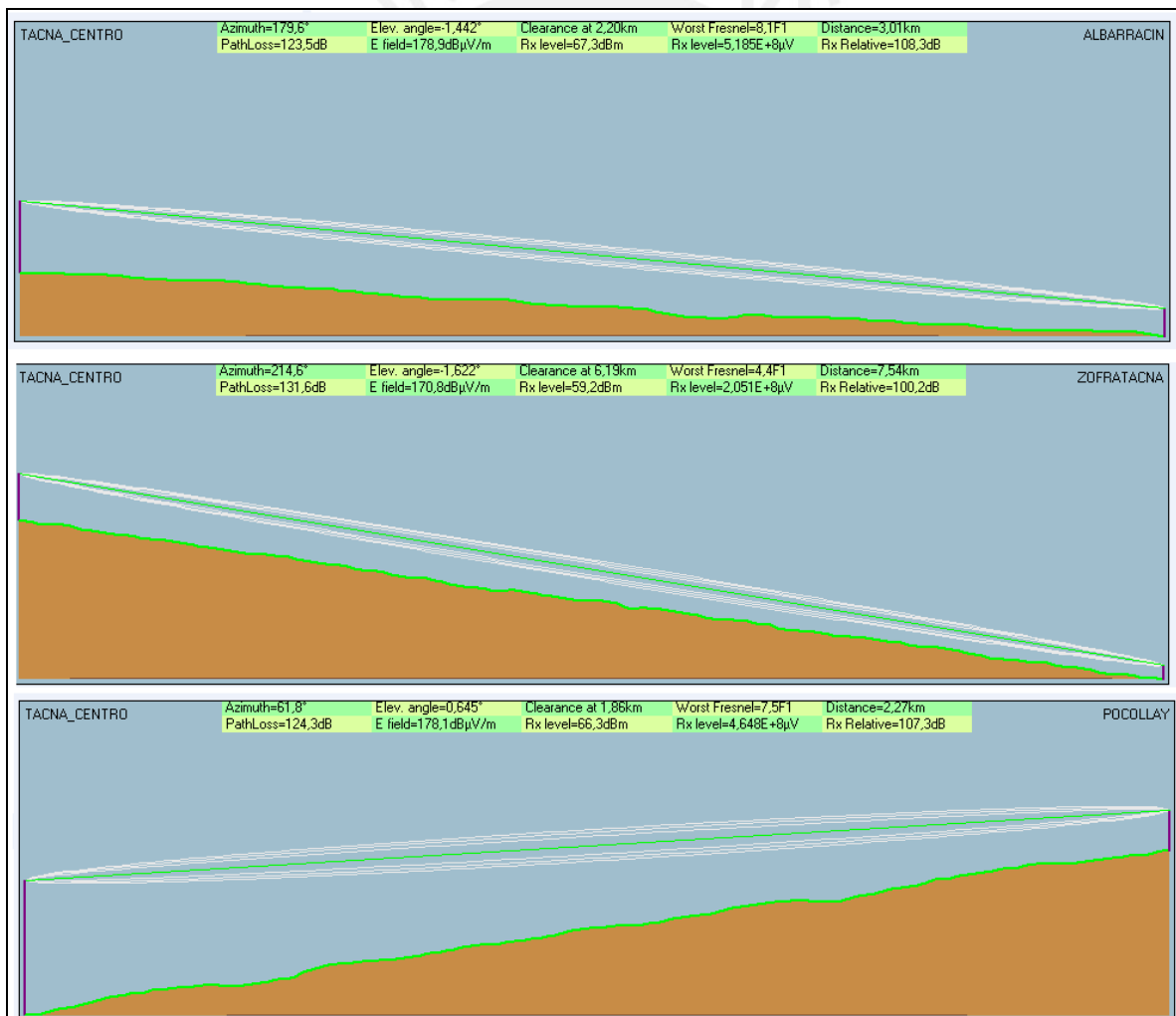


Figura 3.11: Resultados de la simulación de los enlaces de transporte.

Así se comprueban nuestros cálculos, graficando la zona de Fresnel de cada enlace y teniendo en cuenta la línea de vista directa en cada uno de ellos.

### 3.5 Determinación del equipamiento

Ahora pasaremos a seleccionar el equipamiento a utilizarse en la red de acceso para la presente red de tercera generación, según lo que nos ofrece el mercado y según nuestras especificaciones técnicas desarrolladas en este capítulo. Así como los costos relacionados a ellos.

El siguiente cuadro hará una comparación entre las diferentes propuestas de fabricantes reconocidos en el mercado de telecomunicaciones, para la tecnología a utilizarse, WCDMA.

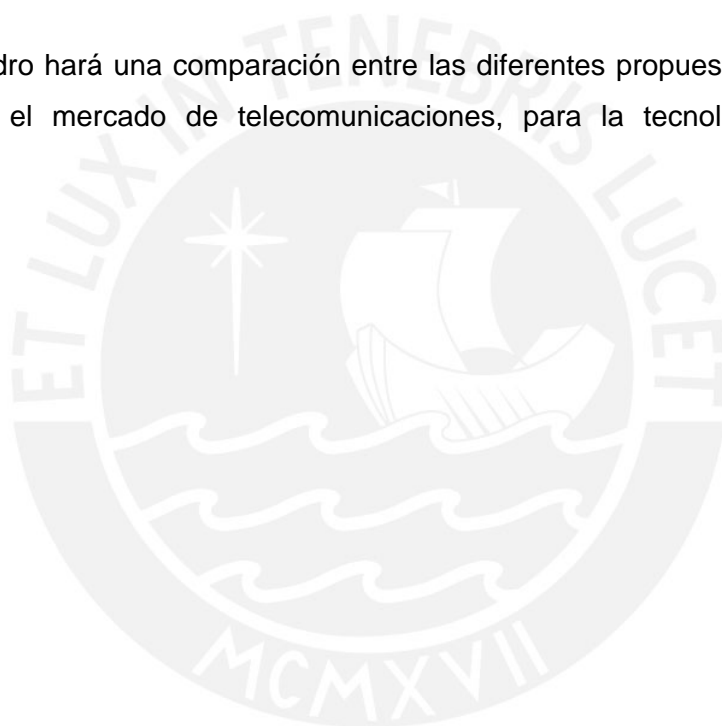
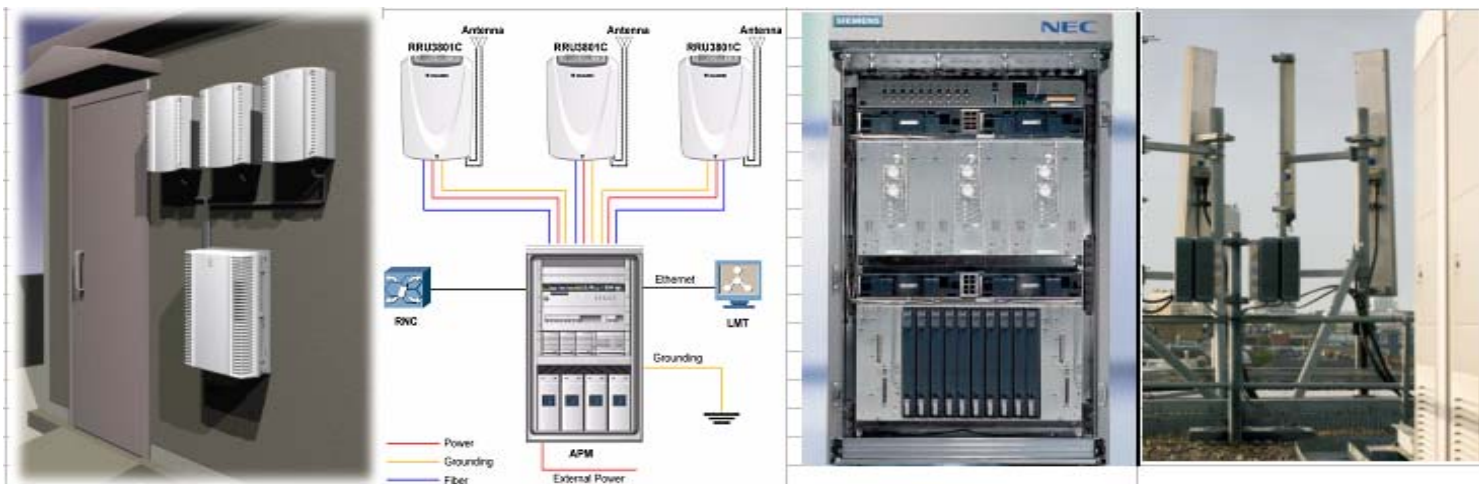


Tabla 3.22: Cuadro comparativo entre diversos fabricantes

	<b>LUCENT TECHNOLOGIES</b>	<b>HUAWEI</b>	<b>SIEMENS / NEC</b>	<b>NOKIA</b>
Model Product	BTS 2430	DBS 3800	NB 440	Nokia Flexi WCDMA
Indoor & Outdoor solution	OK	OK	OK	OK
Frecuencia (MHz)	850/1900/2100	850/900/1900	1800/2100	850/900/1800/1900/2100
Potencia de portadora	40W por carrier	40W por carrier	40W por carrier	20 o 40 W por carrier
Voltaje de consumo	.+ 24V or 230VAC	-48V DC/220V AC	-48V DC/ 240V AC	-48V DC/ 276V AC
Interfaz de transporte	E1/T1, E3/T3	E1/T1, E3/T3 , STM-1	E1 , E3	E1/T1, E3/T3 , STM-1
Sectores	3 sectores / 2 carrier x sec	6 sectores / 2 carrier x sec	3 sectores / 2 carrier x sec	6 sectores / 2 carrier x sec
Mínima Potencia de Rx	-121.5 dBm	-126.2dBm	-120 dBm	-123.7dBm



Como se puede ver en la tabla 3.22, se optaron por proponer los fabricantes más reconocidos del mercado los cuales tiene pequeñas diferencias que influyeron en la decisión para la elección del equipamiento a utilizarse.

Una de las características más relevantes es la utilización de la frecuencia de trabajo, por lo cual al inicio del capítulo se trató el porque de la elección de la banda de 900MHz. Es así que los productos que trabajan en dicha frecuencia son DBS 3800 de Huawei y Nokia Flexi WCDMA, serían los más adecuados para implementarse en nuestra red.

Además analizando la tabla anterior, se puede apreciar que todos los productos tienen parámetros similares como la potencia de portadora (40W), el voltaje de entrada puede ser DC o AC y la sectorización aunque este último parámetro dependerá de los objetivos de cobertura definidos durante la planificación de la red. Por otra parte, la sensibilidad del equipo es un punto esencial pues este determina el rango de cobertura del nodo B, mientras más sensible sea mayor alcance tendrá. El DBS 3880 de Huawei puede captar una señal de hasta  $-126.2$  dBm, entre los equipos propuestos es el de mayor sensibilidad.

Otro de los puntos importantes a tomar en cuenta son las interfaces de transporte por donde se conectará el nodo B hacia RNC y viceversa. Esta interfaz debe ser modular o de lo contrario tendrá que soportar una evolución de tráfico creciente que caracteriza a toda red celular, puede empezar con 1 E1 o 1 T1 pero luego debe ser capaz de crecer hasta STM-1 que es equivalente a 64 E1, por dos motivos: el primero para que el transporte no sea un cuello de botella pues aunque la red de acceso este debidamente dimensionada si el transporte no es el adecuado esto generaría un problema; el segundo motivo es por el transporte de E1 hacia las zonas rurales de ser el caso se necesitará llegar a un punto específico con bastante capacidad para que luego se pueda ramificar y compartir esa capacidad total en otros nodo B. Es por lo indicado en líneas arriba que los equipos de Nokia y Huawei son los más indicados para la proyección de la capacidad de la red.

Por lo expuesto en esta parte se considerará la utilización del DBS 3800 de Huawei, por que cumple con los parámetros establecidos durante la planificación y diseño de la red.

## Capítulo 4

### Evaluación Económica

#### 4.1 Inversión Inicial

Para finalizar la presente tesis se realizó un estudio económico para analizar cuan factible sería implementar una red de tercera generación WCDMA en la ciudad de Tacna. Tomando en cuenta el ingreso per capita, la población económicamente activa (PEA) y otros factores que se detallaron en el capítulo 2.

Primero deberemos estimar los costos de implementación de la red o egresos de inversión, entre estos costos figuran Nodos B, RNC, MSC, antenas, *feeders*, radios microondas, alquiler o compra de inmuebles, pago por canon radioeléctrico, costos de operación y mantenimiento, instalación, etc.

Tabla 4.1: Inversión de Capital inicial

Item	Concepto	Marca	Cantidad	Costo unitario	Total \$
Equipos WCDMA					
1	Nodo B	Huawei	4	40 000	160 000
2	RNC	Huawei	1	200 000	200 000
3	MSC + HLR/AuC + gestión	Huawei	1	450 000	450 000
4	Plataforma multimedia	Huawei	1	40 000	40 000
Sistema Radiante					
5	Antenas	Andrew	12	1 200	14 400
6	<i>Feeders</i>	Andrew	240	47	11 280
7	Conectores	Andrew	48	33	1 584
8	Radio microondas	NEC	6	21 000	126 000

Infraestructura de Telecomunicaciones					
9	Pararrayos Franklin	THOR	4	150	600
10	banco de baterías	Tudor	3	15 000	45 000
11	Grupo electrógeno	Honda	3	3 500	10 500
12	Pozo de tierra	THOR-GEL	11	30	330
13	Torres	Fab. Nacional	3 ven / 1 auto	--->	23 200
14	Aire acondicionado	YORK	5	12 000	60 000
15	Luz de balizaje	Promelsa	8	15	120
16	<i>Grounding kit</i>	Hyperlink	52	18	936
Terminales de usuario					
17	UE - Nokia, huawei, Samsung, etc		10 000	150	1 500 000
Externalidades					
19	Aduanas (43%)	para equipos que se traen del exterior			2 548 264
20	Interconexión con Telefónica	TdP	1	250 000	250 000
21	Instalación y seguridad	GyM	4	8000	32 000
22	Compra de local para NOC	Independiente	1	120 000	120 000
23	Otros				50 000
<b>TOTAL CAPEX</b>					<b>5 644 214</b>

En la tabla 4.1 se detalla el capital invertido para la implementación del proyecto el cual asciende a más de 5 millones y medio de dólares. Cabe resaltar que los precios obtenidos son referenciales pueden variar a lo largo del tiempo según como evolucione la tecnología.

Debemos tener en cuenta que los precios de los terminales WCDMA estarán disminuyendo conforme aumente el volumen de producción, caso similar a lo ocurrido con los terminales GSM, que gozan de precios reducidos debido a la economía de escala imperante para estos terminales.

Se estima que el mercado global para WCDMA *chipset* cerrará 130 millones de unidades para el 2008. Al parecer UMTS seguirá el mismo camino que tuvo GSM, al conseguir gracias a la economía de escala de sus terminales, abaratar costos y cubrir gran parte del mercado.



## 4.2 Costos de Operación y Mantenimiento

Ahora detallaremos los costos de operación y mantenimiento, los cuales incluyen el mantenimiento correctivo y/o preventivo de los nodos B ante cualquier tipo de falla, el pago del personal, etc.

El pago del personal estará definido por el cargo que realice, así tenemos a los del área comercial o ventas que tendrán un pago mensual de \$500, los del área de Ingeniería RF y O&M tendrán un pago de \$1000 y finalmente los gerentes administrativos recibirán un pago de \$1700.

El acceso a Internet, es un posible cuello de botella para una red de acceso multimedia. Es por ello que se tiene asegurado el acceso pues se piensa ser parte de un NAP [35], junto con algunos otro operador que brinda el servicio en la zona o en su defecto proponer la unión empresarial de las pequeñas y medianas empresas de telecomunicaciones para poder tener un punto de acceso a esta gran *backbone* mundial, y así brindar la mejor calidad a nuestros usuarios.

Para la primera fase se tendrá un aproximado de 16 000 usuarios los cuales tendrán un consumo mínimo de 300 minutos cada uno, entonces tenemos en total 4 millones 800 mil minutos. Si asumimos que el 80% será para llamadas locales y el 20% restante es para llamadas de larga distancia nacional. Además el 50 % de cada uno de este tipo de llamadas se realiza hacia fuera de la red (*off-net*) con lo cual se tendrá que pagar a otro operador.

Tabla 4.2: Costo de Operación y Mantenimiento

Concepto	Cantidad	Mensual	Anual
Transporte conmutado larga distancia nacional (\$0,02034 por minuto)	480 000	9 763,2	117 158,4
Transporte conmutado local (\$0,00554 por minuto)	1 920 000	10 636,8	127 641,6
Alquiler de local	3	300	10 800
Pago de personal ( 3 ventas, 4 ingenieros, 2 administrativos)	10	8 900	106 800
Acceso a Internet (NAP)	1	30 000	360 000
Otros imprevistos			25 000
<b>TOTAL OPEX</b>			<b>747 400</b>

#### 4.3 Evaluación económica del proyecto y periodo de recupero del capital

En esta parte, una vez definida la inversión inicial y los costos de operación y mantenimiento de la red se procederá a calcular en cuanto tiempo se recuperara la inversión y cuan sostenible puede llegar a ser este proyecto a corto plazo, gracias a la tendencia exponencial que presenta la telefonía móvil en nuestro país.

Así pues en el capítulo anterior se plantearon planes para los usuarios de la red, con unos costos específicos según el plan escogido, la suma de dichos pagos mensuales en total viene a ser el ingreso bruto de nuestra empresa. Al igual que en la etapa de dimensionamiento se tomará en cuenta dos fases definidas anteriormente. Tomando en cuenta la tabla 3.8 y la tabla 3.7, según dicha distribución de usuarios y los costos de los planes ofrecidos se concluye en la tabla 4.3:

Tabla 4.3: Ingresos brutos anuales

Año de evaluación	Primera Fase		Segunda Fase		
	1	2	3	4	5
Total de usuarios	9 600	15 360	22 716	28 453,6	35 328,12
Ingresos	4 920 000	6 792 000	9 235 200	11 153 227,5	13 459 543,5

Además debemos tomar en cuenta el crecimiento de la red en la segunda fase y los costos de inversión y O&M que se realizaran para dicho *upgrade* de la red. Así pues se tiene las tablas 4.4 y 4.5 con las cantidades que se deberán agregar en el análisis para la siguiente etapa.

Tabla 4.4: CAPEX para la segunda fase del proyecto

Item	Concepto	2da Fase
1	Nodo B	120 000
2	Antenas	10 800
3	Feeders	8 460
4	Conectores	1 188
5	Radio microondas	126 000
6	Pararrayos Franklin	450
7	banco de baterías	45 000
8	Pozo de tierra	180
9	Torres	2 500
10	Aire acondicionado	36 000
11	Luz de balizaje	90
12	Grounding kit	864
13	UE - Nokia, huawei, Samsung, etc	2 600 000
14	Aduanas (43%)	2 911 448
15	instalación y seguridad	240 00
16	Otros	20 000
	<b>TOTAL CAPEX</b>	<b>5 906 980</b>

Tabla 4.5: OPEX total para la segunda etapa del proyecto

Concepto	Cantidad	Mensual	Segunda Fase
Transporte conmutado larga distancia nacional (\$0,02034 por minuto)	525 000	2 908,5	1 025 136
Transporte conmutado local (\$0,00554 por minuto)	2 100 000	42 714	69 804
Alquiler de local	6	300	21 600
Pago de personal ( 3 ventas, 4 ingenieros, 2 administrativos)	10	8 900	106 800
Acceso a Internet (NAP)	1	30 000	360 000
<b>TOTAL OPEX</b>			<b>1 583 340</b>

Teniendo en cuenta los ingresos del Plan *Business*, \$100; el Plan Internet, \$50 y \$75 y el Plan Joven \$30. Se muestra la tabla 4.6 y la tabla 4.7.

Tabla 4.6: Beneficio neto del proyecto

Año de Evaluación	primera fase			segunda fase		
	0	1	2	3	4	5
Inversión	-5 644 214			-5 906 980		
Ingresos		4 920 000	6 792 000	9 235 200	11 153 227,5	13 459 543,5
Egresos		-747 400	-747 400	-1 583 340	-1 583 340	-1 583 340
Beneficio Neto	-5 644 214	4 172 600	6 044 600	1 744 880	9 569 887,5	11 876 203,5

Tabla 4.7: Valor Actual y Acumulado del proyecto

	primera fase			segunda fase		
	0	1	2	3	4	5
Beneficio neto	-5 644 214	4 172 600	6 044 600	1 744 880	9 569 887,5	11 876 203,5
Factor	1	0,89285714	0,79719388	0,71178025	0,63551808	0,56742686
Valor actual	-5 644 214	3 725 535,71	4 818 718,11	1 241 971,12	6 081 836,51	6 738 876,81
Valor acumulado	-5 644 214	-1 918 678,29	2 900 039,83	4 142 010,95	10 223 847,5	16 962 724,3

Analizando la tabla 4.6, deducimos que el año cero es el de inversión e implementación. Es decir, durante ese año que se realiza la compra e instalación de los equipos; los trámites administrativos; búsqueda, compra y/o alquiler de inmuebles; contratación y capacitación del personal, etc. Es por ello que asumiremos que no tiene ingresos, ni egresos.

Luego podemos notar que durante la primera fase los egresos se mantienen constantes pues se calculan para un número de nodo B fijos, para la segunda fase se

realizara un incremento de tres nodos B. Es por esto que se incrementarían los costos de O&M o egresos pero también se incrementarían los ingresos pues se podrá brindar el servicio a un mayor número de usuarios.

Uno de los nuevos nodos B, el *site* CENTRO\_2, estará cerca al centro de la ciudad para brindar mejor cobertura *indoor*, tener mayor capacidad y con ello ofrecer mayor accesibilidad. Un segundo nodo B, TACNA\_ENTER, se ubicaría a la entrada de la ciudad para mejorar la cobertura en dicha zona y cubrir mejor el terminal terrestre, el estadio de fútbol y parte de la zona comercial de la ciudad. El tercer nodo B a implementarse en esta segunda etapa será el *site* ALTO DE LA ALIANZA, que se encontraría ubicado a la entrada de Ciudad Nueva para cubrir el hueco de cobertura que tenía nuestra red desde el inicio del proyecto. Con estos *upgrade* de la red se tendrá cubierta un 90% de la ciudad al término de la segunda fase.

La tabla 4.7 nos muestra el valor actual, que se haya multiplicando el beneficio neto por el factor que toma en cuenta una tasa de interés mayor a la tasa de interés fija que podríamos ganar si dejamos nuestro dinero en una entidad bancaria y no lo invertimos en la implementación de nuestra red de tercera generación. En este caso, nuestra tasa de interés será del 12%. Entonces podemos notar que el valor actual es menor al valor neto recaudado durante el año, por ejemplo si hoy puedo comprar un producto con una cantidad de dinero determinada en un futuro con esa misma cantidad ya no podré comprar el mismo producto pues el dinero es cambiante en el tiempo.

Al tercer año se presentará un nivel de ganancia menor que el año anterior, esto se debe a la inversión realizada en los tres nuevos nodos B para incrementar la cobertura y con ello el mercado e ingresos a la empresa, detallado anteriormente. Luego tenemos el valor acumulado, el cual nos indica el periodo en el cual se recupera la inversión realizada al inicio del proyecto. Para la inversión de la segunda fase se utilizarán la ganancia acumulada hasta ese año.

Tabla 4.8: Recuperación Real de la Inversión

	Primera Fase			Segunda Fase		
	0	1	2	3	4	5
Beneficio neto	-5 644 214	4 040 874	5 894 154	1 637 431,2	9 384 188,63	11 667 441,5
Factor	1	0,89285714	0,79719388	0,71178025	0,63551808	0,56742686
Valor actual	-5 644 214	3 607 923,21	4 698 783,48	1 165 491,19	5 963 821,52	6 620 419,62
Valor acumulado	-5 644 214	-2 036 290,79	2 662 492,7	3 827 983,88	9 791 805,4	16 412 225

Si a esto le restamos el 1% del pago al FITEL, la publicidad que necesita la empresa durante el año y el pago del canon radio eléctrico tenemos la tabla 4.8. Y aun con dichos gastos adicionales, aproximadamente 900 mil dólares, seguimos ganando al quinto año 16 millones dólares. Con lo expresado en el presente capítulo podemos decir que la red es sostenible en el corto plazo y sería una buena inversión además de factible su implementación.

La figura 4.1 define la inversión a lo largo del periodo de evaluación. Con dicho grafico se concluye lo expuesto en líneas anteriores.

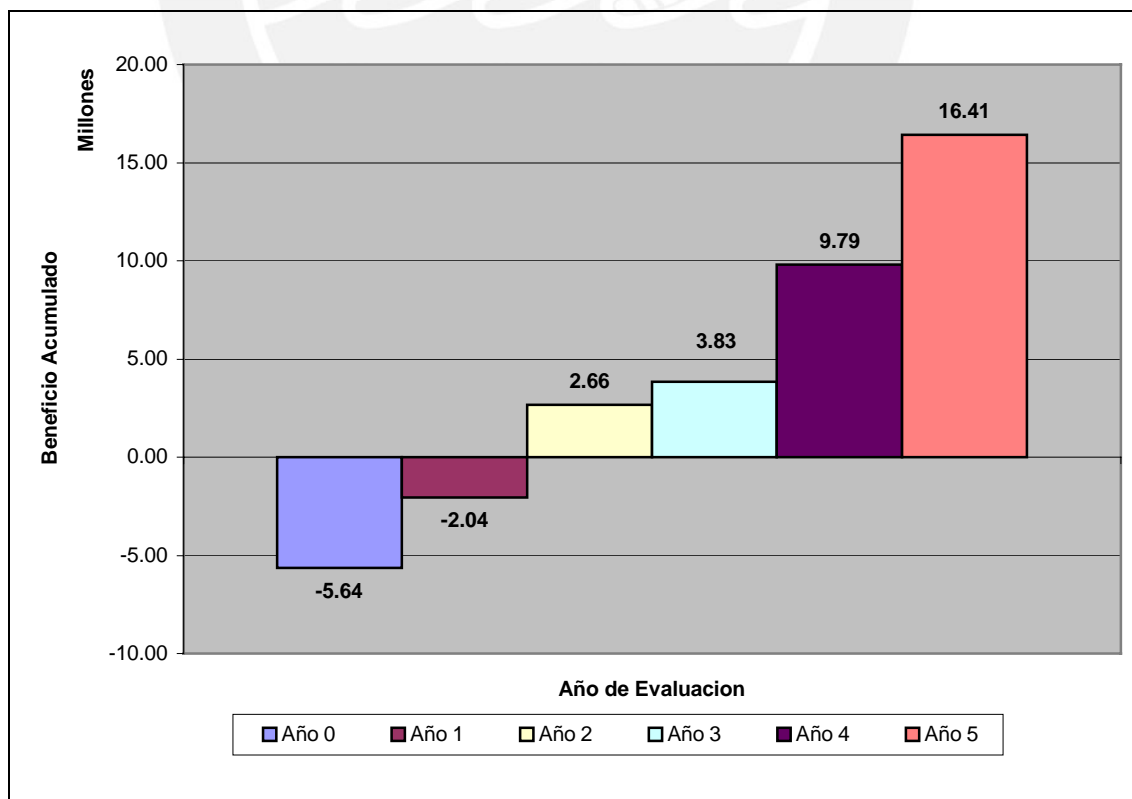


Figura 4.1: Resumen de la evolución del capital invertido.

## *Conclusiones*

1. 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.
2. La ciudad de Tacna, como se a podido apreciar en el capítulo 2, cuenta con un gran mercado potencial y creciente en cuanto a telefonía celular se refiere (60% de teledensidad). Las estadísticas y la experiencia práctica demuestran que dicho crecimiento en nuestro país es exponencial y Tacna no es la excepción, tiene los medios económicos y el mercado necesario para el despliegue de una red 3G. El MTC informo al público general que el 2007 cerró con más de 15,5 millones de líneas celulares. Por lo que concluimos que el mercado peruano aun esta en crecimiento y la incorporación de una nueva tecnología hará más atractivo este servicio.
3. Se puede concluir además que la implementación de una red WCDMA, es factible. De acuerdo al estudio socio-económico y según la evaluación económica realizada en la presente tesis, las cuales arrojan resultados positivos en el corto plazo.

## *Recomendaciones*

Por lo expuesto, se recomienda la implementación de la red WDCMA propuesta en la ciudad de Tacna, pues cuenta con los servicios (aplicaciones de usuario) necesarios que la población tacneña esta dispuesta a pagar.

Así mismo, se recomienda un estudio posterior con la evolución de la red propuesta (HSDPA), optimación y planificación de las siguientes etapas, dándole énfasis a la calidad de servicio (QoS) de la red y nuevos cálculos para las mejoras que presente dicha evolución.



## BIBLIOGRAFIA

1. FERNANDEZ PILCO, Percy. IMT-2000: LA TERCERA GENERACIÓN DE LA TELEFONÍA MÓVIL. Revista Empresa Privada. Año III. Numero 32. Lima, Mayo 2001.
2. HOLMA, Harri. WCDMA FOR UMTS: Radio Access for Thrid Generation Mobile Communications. John Wiley & Sons. Ltd. 2001. .Disponible en la Biblioteca FACI: TK 5103. 452 W
3. SMITH, Clint. 3G Wireless Networks. New York : McGraw-Hill, 2002. Disponible en la Biblioteca FACI:. TK 5103.2 S61
4. MENDO TOMAS, Luis. TESIS DOCTORAL: CAPACIDAD DE SISTEMAS CELULARES W-CDMA. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, noviembre 2001.
5. NAVARRO, Carlos. HACIA LA TERCERA GENERACION CELULAR: ESTANDARES, DATOS E INTELIGENCIA. Lucent Technologies. Mundo electrónico. Numero 287. CETISA - BOIXAREU Editores. Barcelona, Mayo 1998.
6. NILSSON, Mats. NORMAS DE ACCESO DE RADIO DE TERCERA GENERACION. [en línea] Ericson Review No 3, 1999. [citado 29 Junio, 2007] Disponible en Internet:  
[http://www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/1999\\_03/files/es1999031.pdf](http://www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/1999_03/files/es1999031.pdf)
7. PRASAD, Ramjee. THRID GENERATION MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS. Artech House. Boston – London, 2000.Disponible en la Biblioteca FACI: TK 5103.2 T4
8. REINES, Carlos. WCDMA, LA TECNOLOGIA DE LA TERCERA GENERACION. Ericsson. Mundo electrónico. Numero 287. CETISA - BOIXAREU Editores. Barcelona, Mayo 1998.

9. Unión Internacional de Telecomunicaciones  
<http://www.itu.int/home/imt.html>
10. Ericsson – white papers  
<http://www.ericsson.com/technology/whitepapers/>
11. UMTS FORUM  
<http://www.ums-forum.org/>
12. OLIPHANT, Malcolm W. INTERFACES MAKE THE DIFFERENCE IN 3G CELLULAR SYSTEM. Revista científica de la IEEE – SPECTRUM. . [citado 15 Julio, 2007] Disponible en Internet:  
<http://www.spectrum.ieee.org/print/1582>
13. The ETSI UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA) ITU-R RTT - Candidate Submission –. [citado 20 Julio, 2007] Disponible en Internet:  
<http://www.comlab.hut.fi/opetus/238/utra.pdf>
14. 3G Américas  
[www.3gamericas.org/](http://www.3gamericas.org/)
15. Perfil Socio-Económico. Resultados Definidos. Tacna, Abril 2006. Oficina Departamental Tacna INEI. 2005
16. CASTRO, Zoraida. Las Tecnologías de Información y Comunicación en los Hogares. INEI. Informe Técnico N° 2 junio 2007
17. Conociendo Tacna 1999 –. [citado 28 Agosto, 2007] Disponible en Internet:  
<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0258/INDICE.HTM>
18. Municipalidad Provincial de Tacna –. [citado 25 Agosto, 2007] Disponible en Internet: <http://www.munitacna.gob.pe/>
19. Gobierno Regional Tacna. [citado 25 Agosto, 2007] Disponible en Internet:  
[www.regiontacna.gob.pe/](http://www.regiontacna.gob.pe/)

20. Zona Franca de Tacna - Estadísticas. [citado 25 Agosto, 2007] Disponible en Internet: [http://www.zofratacna.com.pe/home\\_spa.htm](http://www.zofratacna.com.pe/home_spa.htm)
21. ProInversión – Regiones. Tacna. [citado 26 Agosto, 2007] Disponible en Internet:  
<http://www.proinversion.gob.pe/0/0/modulos/JER/PlantillaStandard.aspx?ARE=0&PFL=0&JER=708>
22. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo – MTPE –. [citado 3 Septiembre, 2007] Disponible en Internet:  
<http://www.mintra.gob.pe/peel/estadisticas/index.htm>
23. La brecha de inversión en infraestructura de servicios públicos en el Perú. INSTITUTO PERUANO DE ECONOMÍA – IPE. Lima, 26 de mayo de 2006.
24. MAGAN, Alfredo. ESTUDIO DE BANDA ANCHA EN EL PERU 2005-2010. Octubre 2006. IDC.
25. PLAN ESTRATÉGICO REGIONAL EXPORTADOR - REGIÓN TACNA 2005. MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR Y TURISMO
26. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. TACNA, Situación del Mercado de Trabajo de la Región Tacna. Lima, diciembre de 2004.
27. FERRAND NORIEGA, Alberto. "INFORME DEFENSORIAL No. 117 - EL DESAFIO DE LA TELEFONÍA RURAL: Una mirada desde los ciudadanos".
28. ESTADÍSTICAS DE SERVICIOS PÚBLICOS DE TELECOMUNICACIONES A NIVEL NACIONAL. SECRETARÍA DE COMUNICACIONES - Información trimestral a marzo de 2007. MTC
29. TOMASI, Wayne. SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRONICAS. 4ta Edición. Prentice Hall.2003. Disponible en la Biblioteca FACI: TK 5101 T69

30. ESPINOZA, Raúl .OSIPTEL – Boletines de investigación- Boletines Tecnológicos. –. [citado 15 de Noviembre, 2007] Disponible en Internet: <http://www.osiptel.gob.pe/Index.ASP?T=T&IDBase=0&P=%2FOsiptelDocs%2FGCC%2Fnoticias%5Fpublicaciones%2Fpublicaciones%2FFILES%2Fboltec022007%2Epdf>
31. SALVATIERRA, Julio. Tesis para optar por el título de Ingeniero. DISEÑO DE UNA RED CDMA – 450 MHz PARA EL VALLE DEL VILCANOTA – CANCHAS. Disponible en la Hemeroteca de Ingeniería. Código: TIT 2 0004
32. Graduate School, Assumption University, Thailand. THE IMPACT OF UPLINK CAPACITY TO CELL COVERAGE IN WCDMA MOBILE INTERNET.
33. WILEY, John. WCDMA (UMTS) DEPLOYMENT HANDBOOK Planning and Optimization Aspects. John Wiley & Sons Inc 2006
34. CANALIZACIÓN DE BANDAS PARA SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES. –. [citado 15 de Diciembre, 2007] Disponible en Internet: <http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/concesion/mlegal/ntecnicas/canal.htm>
35. OSIPTEL. ESTUDIO SOBRE NETWORK ACCESS POINTS. –. [citado 27 de Diciembre, 2007] Disponible en Internet: [http://www.osiptel.gob.pe/OsiptelDocs/gcc/noticias\\_publicaciones/presentaciones/2007/PresentacionConsultoriaNAP.pdf](http://www.osiptel.gob.pe/OsiptelDocs/gcc/noticias_publicaciones/presentaciones/2007/PresentacionConsultoriaNAP.pdf)
36. Portal Regional Agrario de Tacna <http://www.agritacna.gob.pe/informacion/anuario2002/cap01.pdf>
37. REGLAMENTO DE CALIDAD DE LOS SERVICIOS PUBLICOS DE TELECOMUNICACIONES. OSIPTEL. Lima, junio 2005. Disponible en Internet: <http://www.osiptel.gob.pe/Index.ASP?T=P&P=3383>