



Instituto Politécnico Nacional

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación

Maestría en Ciencias en Ingeniería de Telecomunicaciones

Título de Tesis:

**Análisis de la contaminación de Códigos de Mezclado
en un sistema WCDMA**

Presenta:

José Iván Zamudio Castro

Directores de Tesis

M en C Sergio Vidal Beltrán

Dr. Jorge Roberto Sosa Pedroza



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 11:00 horas del día 9 del mes de MAYO del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.M.E.-ZAC. para examinar la tesis titulada:

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN DE CÓDIGOS DE MEZCLADO EN UN SISTEMA WCDMA”

Presentada por la alumna:

ZAMUDIO

CASTRO

JOSÉ IVÁN

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre(s)

Con registro:

B	9	7	1	5	4	4
---	---	---	---	---	---	---

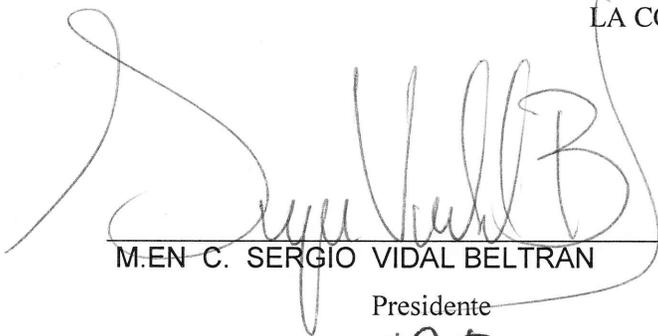
aspirante de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

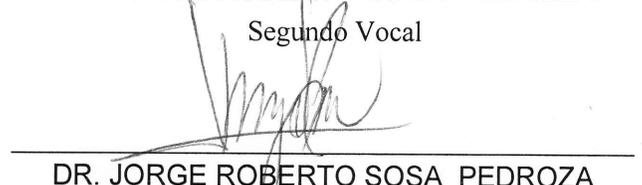
LA COMISIÓN REVISORA

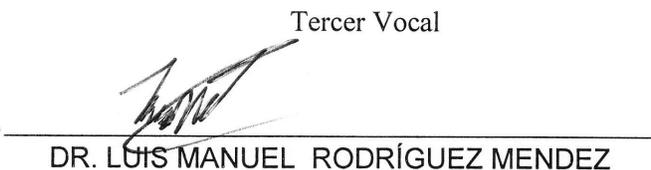
Directores de tesis


M.EN C. SERGIO VIDAL BELTRAN
Presidente


DR. JORGE ROBERTO SOSA PEDROZA
Segundo Vocal


DR. MAURO ALBERTO ENCISO AGUILAR


DR. JORGE ROBERTO SOSA PEDROZA

Tercer Vocal

DR. LUIS MANUEL RODRÍGUEZ MENDEZ

Secretario

M. EN C. MARCO ANTONIO ACEVEDO MOSQUEDA

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO


DR. JAIME ROBLES GARCÍA





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de **México D.F.**, el día **03 del mes octubre del año 2011**, el que suscribe **José Iván Zamudio Castro**, alumno (a) del Programa de **Maestría en Ciencias en Ingeniería de Telecomunicaciones**, con número de registro **B971544**, adscrito a **Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME, Unidad Zacatenco**, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de **M. en C Sergio Vidal Beltrán** y **el Dr. Jorge Roberto Sosa Pedroza** y cede los derechos del trabajo intitulado “**Análisis de la Contaminación de Códigos de Mezclado en un Sistema WCDMA**”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **ivzam@hotmail.com**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

José Iván Zamudio Castro

Contenido

<i>Lista de figuras</i>	6
<i>Lista de tablas</i>	7
<i>Resumen</i>	8
<i>Abstract</i>	9
<i>Justificación y alcance del trabajo</i>	10
<i>Objetivo</i>	12
1. Introducción a las redes UMTS	13
1.1 Sistema de Telecomunicaciones Móvil Universal UMTS	14
1.2 Acomodo de las bandas de frecuencia y canales	17
1.3 La interfase de aire de WCDMA	18
1.4 Servicios y aplicaciones UMTS	19
1.5 Servicio portador UMTS	20
1.6 Clases de Calidad de Servicio QoS de UMTS	20
1.7 El Equipo de Usuario	21
2. Fundamentos de la tecnología WCDMA y marco teórico	23
2.1 Arquitectura del sistema UMTS	24
2.2 Arquitectura de la Red de Acceso de Radio Terrestre Universal UTRAN	27
2.2.1 Controladora de Red de Radio, RNC	28
2.2.1.1 Papel lógico de la RNC	28
2.2.2 El Nodo B (Estación Base)	29
2.2.2.1 Estructura de la Estación Base	29
2.2.2.2 Método de modulación utilizado en WCDMA	31
2.3 La capa física de WCDMA	33
2.3.1 Ensanchamiento y mezclado	34
2.3.1.1 Administración de los códigos	35
2.3.2 Multitrayectoria	37
2.3.3 El receptor tipo Rake	38
2.3.4 Los canales de WCDMA	39
2.3.4.1 Los Canales Lógicos	39
2.3.4.2 Los Canales de Transporte	40
2.3.4.2.1 Los Canales de Transporte Dedicados	41
2.3.4.2.2 Canales de Transporte Comunes	41
2.3.4.2.2.1 El Canal de Difusión, BCH	42
2.3.4.2.2.2 Canal de Acceso hacia Adelante, FACH	42
2.3.4.2.2.3 Canal de Búsqueda, PCH	42
2.3.4.2.2.4 Canal de Acceso Aleatorio, RACH	42
2.3.4.2.2.5 Canal de Paquete Común de Enlace de Subida, CPCH	42
2.3.4.2.3 Canales de Transporte Compartidos	43
2.3.4.2.4 Canales de Transporte y su mapeo en los Canales Físicos	43
2.3.4.3 Canales Físicos	44
2.3.4.3.1 El Canal Piloto Común, CPICH	45

2.3.4.3.2 Canal de Sincronización, SCH	45
2.3.4.3.3 Canal Físico de Control Común Primario, P-CCPCH	46
2.3.4.3.4 Canal Físico de Control Común Secundario, S-CCPCH	47
2.3.4.3.5 Canal de Acceso Aleatorio, RACH para la Transmisión de Señalización	48
2.3.4.3.6 Canal Indicador de Adquisición AICH	48
2.3.4.3.7 Canal Indicador de Paging PICH	49
2.4 Búsqueda de la celda	49
2.4.1 Detección del Canal de Sincronización Primario, Sincronización de	49
2.4.2 Detección del Canal de Sincronización Secundario, Sincronización de Trama	49
2.4.3 Detección del ID de la Celda	50
2.4.4 Identificación de Estado de Diversidad de Transmisión del P-CCPCH	50
2.5 Presupuesto de Enlace y Modelos de Propagación	50
2.5.1 Modelo de Propagación Okumura-Hata	53
2.5.2 Modelos de Pérdida de Trayectoria para UMTS	54
2.5.2.1 Modelo de pérdida de trayectoria para interiores oficina	54
2.5.2.2 Modelo de pérdida de trayectoria para ambientes urbanos y suburbanos	55
2.5.2.3 Modelo de pérdida de trayectoria para ambientes exteriores a interiores y pedestre	55
2.6 Método de Krige	56
2.6.1. Ajuste de una función al semivariograma	57
2.6.2. Selección del modelo	58
2.7 Sistema de Información Geográfica GIS	59
3. Mediciones	60
Introducción	61
3.1 Configuración de la Medición	61
3.2 Mediciones “sobre el aire”	64
3.2.1 Verificación de Cobertura de Sectores Múltiples	65
3.2.1.1 Valores de Referencia	65
3.2.2 Almacenamiento de las mediciones	66
3.2.3 Extracción de información	66
3.2.4 Creación de niveles de cobertura	68
3.2.4.1 La preparación de los datos	69
3.2.4.2 El variograma	69
3.2.4.3 El kriging	70
3.2.4.4 La visualización	70
3.2.5 Mapas de estimación de cobertura	71
3.2.6 Procedimiento para realizar la verificación de Códigos de Mezclado en la red de acceso WCDMA	72
4. Resultados	74
Introducción	75
4.1 Mapas de estimación de cobertura referenciados sobre GIS	76
4.1.1 El Código de Mezclado 226	76
4.1.2 El Código de Mezclado 181	77
4.1.3 El Código de Mezclado 246	77
4.1.4 El Código de Mezclado 217	78
4.1.5 El Código de Mezclado 252	79
4.1.6 El Código de Mezclado 249	80
4.2 Análisis de los seis Códigos de Mezclado por niveles de potencia	80

4.3 Análisis de los valores E_c/I_0.....	85
5. Conclusiones	87
5.0 Conclusiones	88
6. Trabajos complementarios y/o futuros.....	91
7. Referencias	92
Acrónimos.....	94
8. Anexos	97

Lista de figuras

Figura 1.1 Evolución de los sistemas móviles hacia 3G..... 14

Figura 2.1 Arquitectura del sistema UMTS..... 24

Figura 2.2 Elementos de red de una Red Móvil Pública Terrestre PLMN..... 25

Figura 2.3 Arquitectura de la UTRAN 27

Figura 2.4 Estructura de la estación base..... 29

Figura 2.5 Arquitectura lógica de la estación base 30

Figura 2.6 Modulación QPSK..... 32

Figura 2.7 Relación entre el ensanchado y el mezclado 34

Figura 2.8 Árbol de códigos de canalización..... 35

Figura 2.9 Códigos de Mezclado y códigos de canalización 36

Figura 2.10 Bloques principales que conforman el receptor RAKE 38

Figura 2.11 Canales WCDMA..... 39

Figura 2.12 Indicador de Formato de Transporte 44

Figura 2.13 Canales de sincronización Primario y Secundario 46

Figura 2.14 Estructura de trama del CCPCH Primario..... 47

Figura 2.15 Modelos de ajuste para semivariograma 57

Figura 2.16 Parámetros para ajuste del semivariograma 58

Figura 3.1 Área de estudio 62

Figura 3.2 Posición del analizador para realizar mediciones a través del aire 63

Figura 3.3 Pantalla “OTA” de captura de información de Códigos de Mezclado 64

Figura 3.4 Ventana de diálogo de preparación de datos 69

Figura 3.5 Ventana de diálogo de variograma 70

Figura 3.6 Mapa de la estimación de cobertura para el CPICH del CM 181 70

Figura 3.7 Validación del kriging 71

Figura 3.8 Diagrama de flujo para realizar la verificación de códigos..... 72

Figura 4.1 Mapa de estimación de cobertura del canal CPICH del CM 226..... 75

Figura 4.2 Mapa de estimación de cobertura del valor E_c del CM 226..... 75

Figura 4.3 Mapa de estimación de cobertura del canal CPICH con CM 226 sobre GIS.. 76

Figura 4.4 Mapa de estimación de cobertura de E_c con CM 226 sobre GIS..... 76

Figura 4.5 Mapa de estimación de cobertura del canal CPICH con CM 181 sobre GIS.. 77

Figura 4.6 Mapa de estimación de cobertura de E_c con CM 181 sobre GIS 77

Figura 4.7 Mapa de estimación de cobertura del canal CPICH con CM 246 sobre GIS.. 78

Figura 4.8 Mapa de estimación de cobertura de E_c con CM 246 sobre GIS 78

Figura 4.9 Mapa de estimación de cobertura del canal CPICH con CM 217 sobre GIS.. 79

Figura 4.10 Mapa de estimación de cobertura de E_c con CM 217 sobre GIS 79

Figura 4.11 Mapa de estimación de cobertura del canal CPICH con CM 252..... 79

Figura 4.12 Mapa de estimación de cobertura de E_c con CM 252 sobre GIS 79

Figura 4.13 Mapa de estimación de cobertura del canal CPICH con CM 249 sobre GIS 80

Figura 4.14 Mapa de estimación de cobertura de E_c con CM 249 sobre GIS 80

Figura 4.15 Área de cobertura de CM con valores del canal CPICH mayor a -78 dBm.. 81

Figura 4.16 Área de cobertura de CM con valores del canal CPICH entre -78 y -82 dBm 82

Figura 4.17 Área de cobertura de CM con valores del canal CPICH entre -82 y -86 dBm 83

Figura 4.18 Área de cobertura de CM con valores del canal CPICH entre -86 y -90 dBm 84

Figura 4.19 Distribución de valores de E_c/I_o por CM 85

Figura 4.20 Distribución de valores de E_c/I_o en la zona analizada..... 86

Figura 5.1 Validación de sectores y sectorización de nodo Lindavista 88

Lista de tablas

Tabla 1.1 Bandas de frecuencia 18

Tabla 1.2 Separación de frecuencia entre Tx –Rx 18

Tabla 1.3 Definición UARFCN 18

Tabla 1.4 Definición UARFCN (General)..... 18

Tabla 1.5 Clases de Calidad de Servicio, QoS de UMTS..... 21

Tabla 2.1 Consideraciones para la estación móvil..... 52

Tabla 2.2 Consideraciones para la estación base 52

Tabla 2.3 Presupuesto de enlace para un servicio de voz de 12.2kbps..... 52

Tabla 3.1 Resultados de una medición en un punto con los valores de Latitud y Longitud asociados 66

Tabla 3.2 Ubicación de los parámetros en archivo *CSV 67

Tabla 3.3 Cantidad de Códigos de Mezclado detectados 67

Tabla 3.4 Archivo de Salida de extracción de valores..... 68

Tabla 3.5 Escala de valores de potencia utilizados en el sistema GIS..... 72

8. Anexos

Anexo 1. Programa de salida para la extracción de valores

Anexo 2. Especificaciones técnicas del equipo de medición MS2721B

Resumen

En el presente trabajo se desarrolla una metodología para identificar la contaminación de señales piloto en una red Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha WCDMA (Wideband Code Domain Multiple Access), generada por el traslape de cobertura de las distintas estaciones base que atienden un área o región. El análisis se basa en mapas de estimación de cobertura, creados a partir de mediciones de niveles de potencia realizadas en campo, de uno de los indicadores de desempeño clave del sistema WCDMA, el Canal Piloto Común CPICH (Common Pilot Channel).

El análisis experimental es realizado delimitando un área de estudio y utilizando equipo de medición especializado con capacidades de demodulación de la señal WCDMA para obtener los Códigos de Mezclado. Los Códigos de Mezclado son utilizados en la dirección del Enlace de Bajada para identificar y separar celdas y sectores que son transmitidos por las estaciones base –NodoB- en el canal físico llamado Canal Piloto Común, CPICH. A partir de las mediciones recopiladas “sobre el aire” de la señal WCDMA realizadas en un ambiente de exteriores, la información relevante es extraída y procesada en la herramienta de Software Matlab.

Los mapas de estimación de cobertura de la potencia del canal CPICH etiquetados solamente con la información del Sistema Posicionamiento Geográfico GPS, (Geographic Positioning System) obtenida en las mediciones originales, son posteriormente mapeados en un Sistema de Información Geográfica GIS, (Geographic Information System), permitiendo identificar zonas problemáticas, traslape de coberturas y tendencias en la propagación de la señal WCDMA. La presencia de muchos sectores con alta intensidad en una ubicación provoca lo que se conoce como contaminación de señales piloto, con consecuencias tales como una baja tasa de datos, baja capacidad y excesivos traspaso de llamadas, lo que deteriora la Calidad de Servicio.

Abstract

In the present work is developed a methodology to find out the pilot pollution within a Wideband Code Domain Multiple Access WCDMA network, generated by the coverage overlapping of the different base stations serving one area or region. The analysis is based on coverage estimation maps created from punctual power levels measurements made in the field from one of the key performance indicators of the WCDMA system, the Common Pilot Channel, CPICH.

The experimental analysis is conducted by delimiting a study area and using specialized measurement equipment with demodulation capabilities of WCDMA signal to obtain the Scrambling Codes. Scrambling Codes are used in the Downlink direction to identify and separate cells and sectors that are transmitted by the base stations –NodeB- over the physical channel named Common Pilot Channel CPICH. From over the air measurements of WCDMA signal collected in an outdoor environment, relevant information is extracted and post processed in Matlab Software.

CPICH power coverage estimation maps initially tagged with only GPS Geographic Positioning System information from the raw data are further mapped on GIS Geographic Information System, allowing to identify problematic zones, coverage overlapping and trends in the WCDMA signal propagation. The presence of too many strong sectors in a location creates what is called as pilot pollution with consequences such as low data rate, low capacity, and excessive soft handoffs deteriorating the Quality of Service.

Justificación y alcance del trabajo

La tecnología de Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha WCDMA (Wideband Code Domain Multiple Access), es una tecnología de acceso de radio de tercera generación 3G (3rd Generation) utilizada por los operadores de redes inalámbricas celulares para proporcionar una amplia gama de servicios, tales como los de voz y los de datos.

En WCDMA todas las estaciones base pueden utilizar la misma frecuencia, teniendo así un esquema de reutilización de frecuencia de uno en todo el sistema. El tipo de código llamado “Código de Mezclado”, CM (SC, Scrambling Code) es empleado en la dirección del Enlace de Bajada DL (Down Link) para identificar y separar celdas y sectores. Este código es transmitido siempre con el mismo valor en toda la celda/sector en el canal denominado Canal Piloto Común CPICH (Common Pilot Channel), que es uno de los canales físicos comunes que emplea WCDMA con propósitos de sincronización, negociaciones de capa uno y estimación de canal.

Las terminales móviles de manera continua monitorean las señales piloto de los canales CPICHs que puedan ser detectadas en una ubicación determinada. La calidad del canal CPICH es medida en términos de la relación E_c/I_o , que se define como la relación de la energía recibida por chip y el nivel de interferencia. Para que una terminal móvil se mantenga referenciada a una celda/sector, el valor de la relación E_c/I_o debe exceder un umbral mínimo todo el tiempo. Esta relación también es utilizada para que la carga de la celda pueda ser balanceada entre las distintas celdas. Si se reduce la potencia del canal CPICH, provoca que parte de las terminales realicen un traspaso de llamada a otra celda/sector, mientras que un aumento de la potencia invita a que más terminales se traspassen a esta celda/sector, así como, a que realicen el acceso inicial a la red en esta celda/sector.

En una red de un Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal, Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) las terminales móviles reciben señales de múltiples estaciones base. Por consiguiente, es posible que una terminal móvil, aun estando en una ubicación cercana a una de ellas, no le sea posible conseguir el registro a la red debido a los niveles de interferencia altos provocados por una segunda o más estaciones base en las cercanías. Este efecto es llamado “contaminación de señales piloto”.

En el presente trabajo se analiza la contaminación de señales piloto existente en un área determinada, utilizando una herramienta de medición especializada con la capacidad para realizar la demodulación de la señal WCDMA y así poder conocer y evaluar los valores de los Códigos de Mezclado y de la relación E_c/I_o presentes en el área. Las referencias clave consideradas al momento de realizar la verificación de sectores múltiples de acuerdo con las recomendaciones definidas [6] son: el valor de la relación E_c/I_o , debe tener un valor >-9 dB en más del 95% del área de cobertura; mientras que en lo referente a la cantidad de Códigos de Mezclado presentes, no debe haber más de tres códigos en más del 95% del área de cobertura.

Tanto el traslape de sectores, como el valor de la relación E_c/I_o , son dos Indicadores de Desempeño Clave, Key Performance Indicators (KPIs) de un sistema UMTS, que deben tomarse en cuenta durante el proceso de optimización de radio frecuencia de la red de acceso y monitorearse de manera constante, para asegurar que la red tenga un buen desempeño.

En la sección uno de este trabajo se presenta una introducción a las redes UMTS, las cuales son el resultado de la evolución que han tenido los sistemas de comunicación celular de primera y segunda generación. En esta tercera generación, de los dos modos de operación disponibles para la interfase de aire de UMTS y el Acceso de Radio Terrestre de UMTS, UMTS UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access), el trabajo se enfoca en el modo de operación Dúplex de División de Frecuencia FDD (Frequency Division Duplex), el cual es el más ampliamente implementado en Europa y Asia en su versión de *Release 99* y utilizado por los operadores de telefonía celular en México.

En la sección dos se describen los fundamentos de la tecnología WCDMA, que contempla la arquitectura del sistema UMTS y los elementos funcionales que la componen, tanto en la red de acceso como en la red central. Se pone especial atención en la capa física de la tecnología WCDMA, la cual hace uso de diferentes niveles de codificación para separar las comunicaciones intercambiadas entre la terminal móvil y la estación base -NodoB- y se describen los distintos canales empleados por la tecnología, siendo de particular interés para este estudio -el CPICH- uno de los canales de capa física. Así mismo, se describe el método empleado para la generación de los mapas de estimación de cobertura y su mapeo en un Sistema de Información Geográfica GIS para su interpretación y análisis.

La sección tres presenta el procedimiento empleado para configurar tanto la prueba como el equipo de medición, para que a través de una de sus aplicaciones de software activadas para la evaluación de la tecnología WCDMA, se realicen las mediciones “sobre el aire” de los Códigos de Mezclado transmitidos por los distintos Nodos Bs en un punto determinado. Posteriormente se detallan los pasos mediante los cuales las mediciones recopiladas, son extraídas, preparadas y procesadas con herramientas de computo para extraer los distintos valores asociados al canal CPICH y que permiten generar los mapas de estimación de cobertura y su traslación final sobre un Sistema de Información Geográfica.

La sección cuatro de resultados presenta tres tipos de análisis de los mapas de estimación de cobertura. Primeramente se muestra el comportamiento que tienen de manera individual seis de los diecinueve Códigos de Mezclado identificados en el área analizada. Un segundo análisis se basa en un comparativo por niveles de potencia de estos seis Códigos, que permite observar zonas en el que existe la presencia simultánea de varios de ellos. Y finalmente un último análisis enfocado en el parámetro E_c/I_o permite conocer la interferencia provocada entre celdas vecinas.

Objetivo General.

- Analizar experimentalmente una zona específica para verificar la existencia de la contaminación de Códigos de Mezclado en una red de acceso WCDMA

Objetivos particulares.

- Identificar y validar la presencia de los Códigos de Mezclado de los Nodos B.
- Proponer una metodología para la creación de mapas de estimación de cobertura continuos
- Determinar la existencia de la contaminación de señales piloto a partir del análisis de los mapas de estimación de cobertura.
- Evaluar el cumplimiento de los parámetros de operación de una Red WCDMA

1. Introducción a las redes UMTS

1. 1 Sistema de Telecomunicaciones Móvil Universal UMTS

Los sistemas celulares analógicos son comúnmente referidos como sistemas de primera generación, mientras que los sistemas digitales actualmente en uso, tales como el Sistema Global para Comunicaciones Móviles GSM (Global System for Mobile Communications), el Celular Digital del Pacífico PDC (Pacific Digital Cellular), el Acceso Múltiple por División de Código One cdmaOne IS-95 (Code Domain Multiple Access One Interim Standard-95) y el Acceso Múltiple por División de Tiempo TDMA (Time Domain Multiple Access), pertenecen a los sistemas de segunda generación. Estos sistemas han permitido que las comunicaciones de voz se realicen de manera inalámbrica, sin embargo, los usuarios están continuamente encontrando también valor en otros servicios tales como los mensajes de texto y el acceso a las redes de datos, las cuales están comenzando a desarrollarse rápidamente [1].

Con el fin de cumplir con los requerimientos de la rápida y creciente demanda de servicios inalámbricos debido a la integración de Internet, multimedia y comunicaciones móviles, las redes inalámbricas de tercera generación 3G, comenzaron a ser desarrolladas bajo la iniciativa de la Unión de Telecomunicación Internacional ITU (International Telecommunication Union), por los grupos del Proyecto de Asociación de Tercera Generación 3GPP y 3GPP2 (Third Generation Partnership Project). La evolución que han tenido los sistemas móviles hacia 3G se muestra en la figura 1.1.

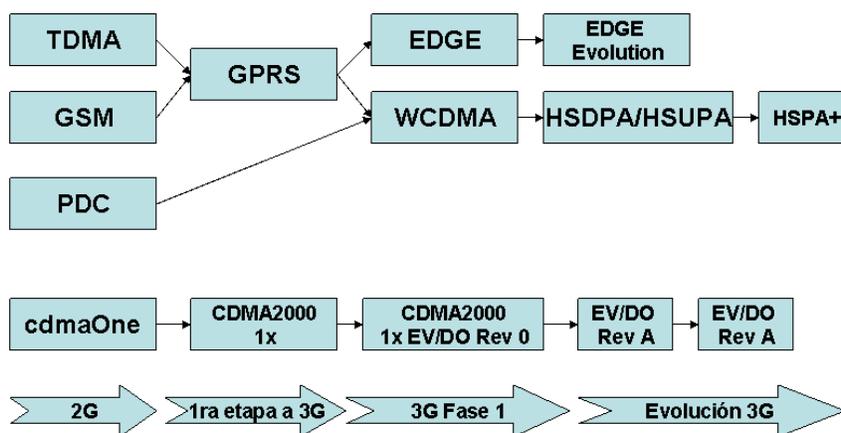


Figura 1.1 Evolución de los sistemas móviles hacia 3G

El 3GPP es una empresa conjunta de varias organizaciones de estandarización internacionales de Europa, el Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo ETSI (European Telecommunications Standards Institute); de Japón, la Asociación de Industrias y Empresas de Radio / el Comité de Tecnología de Telecomunicación ARIB/TTC (Association of Radio Industries and Businesses / Telecommunication Technology Committee); de los Estados Unidos el Comité de Estandarización T1-Telecomunicaciones (Standarisation Committee T1- Telecommunications), de Korea del Sur la, Asociación de Tecnología de Telecomunicación TTA (Telecommunication Technology Association) y de China el Estándar de Telecomunicación Inalámbrica de China CWTS (China Wireless Telecommunication Standard), cuyo trabajo de estandarización comenzó a finales de 1998 y terminó hacia finales de 1999 con la primera

versión de una especificación común llamada “Release 99”. El 3GPP2 fue creado en paralelo con el proyecto 3GPP, con la participación de ARIB, TTA y CWTS, el cual se enfoca más en la evolución del estándar IS-95 para el desarrollo de cdma2000 de Secuencia Directa (DS) y del modo Multi Portadora MC (Multi Carrier).

Los sistemas de 3G desarrollados por los grupos 3GPP y 3PP2 cumplen con los requerimientos previstos por la familia de estándares de Telecomunicación Móvil Internacional 2000 IMT-2000 (International Mobile Telecommunication 2000), los cuales contemplan mayores tasas de datos y eficiencia espectral que los sistemas de 2G, soporte para la transmisión de datos, tanto en el modo de Conmutación de Paquetes PS (Packet Switching), como en el de Conmutación de Circuitos CS (Circuit Switching), amplia gama de servicios y aplicaciones, diferenciación de Calidad de Servicio QoS (Quality of Service) y una capa física flexible con capacidades de tasa de bit variable, que faciliten la introducción de nuevos servicios.

Las propuestas más importantes de IMT-2000 fueron el Sistema de Telecomunicaciones Móvil Universal y el Acceso Múltiple por División de Código 2000 CDMA2000 como sucesores respectivamente de los sistemas GSM e IS-95.

UMTS cumple con los requerimientos de IMT-2000 soportando una amplia gama de servicios simétricos / asimétricos en la que los usuarios pueden acceder a las Redes de Telefonía Pública Conmutada PSTN (Public Switched Telephone Network) /Redes Digitales de Servicios Integrados ISDN (Integrated Services Digital Network), así como a los servicios emergentes de comunicaciones de datos de Protocolo Internet IP (Internet Protocol), que incluyen Internet y aplicaciones multimedia con una eficiencia y flexibilidad sin precedente en los sistemas de comunicaciones inalámbricas.

La evolución de los sistemas de 3G dentro del proyecto de 3GPP ha sido organizado y calendarizado en fases y “Releases”. El primer Release fue el UMTS Release 99 introducido a finales del año de 1999 y que en algunas ocasiones también es referido como Release 3. Éste soporta servicios de alta velocidad entregando velocidades de datos de hasta 2 Mbps que dependen de la velocidad y de la cobertura. Además, define y especifica transiciones de la red de GSM existente hacia la de WCDMA, habilitando trasposos de llamada transparentes inter-sistema y viceversa.

Posterior al Release 99, 3GPP decidió retirar el uso de los últimos dígitos del año para nombrar los Releases y cambió a utilizar el primer número de la tripleta empleada para la versión del mismo [3].

En el Release 4, completado en Marzo de 2001, se añadieron mejoras al Release 99 que incluyó, la introducción en el modo Duplex de División de Tiempo TDD (Time Division Duplex) de una opción de velocidad de tasa de datos adicional de 1.28 Mchips/s. Se permitió que la capa de Protocolo de Convergencia de Datos de Paquetes PDCP (Packet Data Convergence Protocol) soportara nuevos algoritmos de compresión de encabezados IP. Del lado de la red central, el mayor cambio es la separación en el Centro de Conmutación de Servicios Móviles MSC (Mobile Switching Centre) de los planos de

usuario y de control respectivamente en la Puerta de enlace para medios, Media Gateway MGW y en el MSC.

En el Release 5, la mayor mejora es la implementación del Acceso de Paquetes de Enlace de Bajada de Alta Velocidad HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) a fin de conseguir mayores tasas de bit en el Enlace de Bajada. HSDPA se basa en la introducción de nuevas técnicas mejoradas, tales como el calendarizado rápido de paquetes, la modulación y codificación adaptativa y la Solicitud de Repetición Automática Híbrida HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest). También se introdujo el Subsistema de Multimedia IP IMS (IP Multimedia Subsystem) para soportar el transporte basado en IP y la creación de servicios.

Con la finalidad de soportar servicios múltiples y tasas de bit superiores, el Release 6 y posteriores Releases se enfocarán en la introducción de nuevas características y mejoras. Se espera que la tendencia hacia una tecnología IP replazce a otras tecnologías a lo largo de toda la red de transporte convirtiéndose en método clave al momento de implementar servicios, accederlos y controlar la red [9].

La técnica inalámbrica adoptada por UMTS es el Acceso Múltiple por División de Código (CDMA). La interfase de aire de UMTS junto con el Acceso de Radio Terrestre de UMTS UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access), como se introdujo en 1998 por ETSI, soportan los dos modos de operación siguientes:

1. UTRA FDD basado en CDMA de banda ancha WCDMA, para la operación Dúplex de División de Frecuencia FDD (Frequency Division Duplex) y
2. UTRA TDD basado en CDMA de División de Tiempo TD/CDMA para la operación Dúplex de División de Tiempo TDD.

El modo UTRA FDD utiliza tecnología de Acceso Múltiple por División de Código de Secuencia Directa DSSSS (Direct Sequence CDMA), con una tasa de chip de 3.84 Mcps para operar en parejas de bandas del espectro con un ancho de banda de 5 MHz cada una, tanto para el Enlace de Subida UL (Up Link) como para el Enlace de Bajada [4].

Los principales parámetros relacionados con la interfase de aire de la tecnología WCDMA son mencionados a continuación [1]:

- ✓ WCDMA es un sistema de banda ancha de Acceso Múltiple por División de Código de Secuencia Directa, en el que los bits de información de usuario son ensanchados en un ancho de banda amplio mediante la multiplicación de los datos de usuario con bits quasi-aleatorios (llamados Chips) derivados de los códigos de dispersión de CDMA. El uso de factores de dispersión variable y conexiones multi código es soportado con la finalidad de alcanzar velocidades de tasas de bit muy altas (arriba de 2Mbps).

- ✓ La tasa de chip de 3.84 Mcps utilizada, conduce a un ancho de banda de portadora de aproximadamente 5 MHz. El inherente ancho de banda de portadora amplia permite que WCDMA soporte tasas de datos de usuarios altas y que también se obtengan ciertos beneficios de desempeño, tales como un aumento de la diversidad de multi-trayectoria.
- ✓ WCDMA soporta tasas de datos de usuario altamente variables, es decir el concepto de obtener ancho de banda en Base a la Demanda BoD (Base on Demand) es bien soportado. A cada usuario es asignado tramas de 10 ms de duración, durante los cuales la tasa de datos de usuario se mantiene constante. Sin embargo la capacidad de datos entre los usuarios puede cambiar de trama a trama.
- ✓ WCDMA soporta la operación de estaciones base asíncrona, a diferencia de los sistemas IS-95 síncronos que requieren de una referencia de tiempo global, tal como el Sistema de Posicionamiento Global, GPS (Global Positioning System).
- ✓ WCDMA emplea detección coherente en el Enlace de Subida y en el Enlace de Bajada en base al uso de símbolos piloto o piloto común. En contraste con IS-95 que emplea la detección coherente en el Enlace de Bajada, su uso es nuevo en el Enlace de Subida para sistemas de CDMA públicos, lo cual se traduce en un aumento en general de la cobertura y capacidad en el Enlace de Subida.
- ✓ La interface de aire de WCDMA ha sido diseñada de tal forma que conceptos de recepción avanzados de CDMA, tales como detección multi-usuario y antenas adaptativas inteligentes, pueden ser implementados por el operador de red como una opción de sistema para aumentar la capacidad y/o cobertura.
- ✓ WCDMA está diseñado para ser implementado en conjunto con GSM. Por lo tanto, los trasposos de llamada entre tecnologías GSM y WCDMA son soportados.

1.2 Acomodo de las bandas de frecuencia y canales

La especificación UMTS define una operación simultánea de división de frecuencia como el modo estándar para la comunicación de voz y datos [10]. UTRA/FDD está diseñado para operar en las bandas de frecuencia mostradas en la tabla 1.1 con una separación de frecuencia entre la Transmisión Tx y la Recepción Rx de acuerdo a la tabla 1.2. El sistema de numeración de canales se basa en un rasterizado de 200 kHz con un espaciado de canal nominal de 5 MHz, lo que significa que la frecuencia central debe ser un múltiplo entero de 200 kHz de acuerdo a la Especificación Técnica 25.201 TS (Technical Specification) [11].

El Número de Canal de Frecuencia de Radio Absoluto de UTRA UARFCN (UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number), el número de canal N_{dl} con frecuencia

central f_{dl} para el Enlace de Bajada y el N_{ul} con f_{ul} para el Enlace de Subida respectivamente, son designados de acuerdo a las tablas 1.3 y 1.4.

Las frecuencias del Enlace de Subida son aquellas en las que el Equipo de Usuario UE (User Equipment) transmite y las frecuencias del Enlace de Bajada son aquellas en las que la estación base llamada Nodo B transmite.

Tabla 1.1 Bandas de frecuencia

Banda de Operación	Frecuencias de Enlace de Subida UL, UE transmite, Nodo B recibe	Frecuencias de Enlace de Bajada DL UE recibe, Nodo B transmite
I	1920 - 1980 MHz	2110 – 2170 MHz
II	1850 - 1910 MHz	1930 – 1990 MHz
III	1710 - 1785 MHz	1805 – 1880 MHz
IV	1710 - 1755 MHz	2110 - 2155 MHz
V	824 – 849 MHz	869 - 894 MHz
VI	830 - 840 MHz	875 - 885 MHz

Tabla 1.2 Separación de frecuencia entre Tx –Rx

Banda de Operación	Separación de Frecuencia Tx-Rx
I	190 MHz
II	80 MHz.
III	95 MHz.
IV	400 MHz
V	45 MHz
VI	45 MHz

Tabla 1.3 Definición UARFCN

	UARFCN	Portadora en MHz
Enlace de Bajada	$N_{dl} = 5f_{dl}$	$0 \leq f_{dl} \leq 3276.6$ MHz
Enlace de Subida	$N_{ul} = 5f_{ul}$	$0 \leq f_{ul} \leq 3276.6$ MHz

Tabla 1.4 Definición UARFCN (General)

Band	Enlace de Subida UL UE transmite, Node B recibe			Enlace de Bajada DL UE recibe, Node B transmite		
	UARFCN formula offset F_{UL_Offset} [MHz]	Rango de frecuencia portadora (F_{UL}) [MHz]		UARFCN formula offset F_{DL_Offset} [MHz]	Rango de frecuencia portadora (F_{DL}) [MHz]	
		F_{UL_baja}	F_{UL_alta}		F_{DL_baja}	F_{DL_alta}
I	0	1922.4	1977.6	0	2112.4	2167.6
II	0	1852.4	1907.6	0	1932.4	1987.6
III	1525	1712.4	1782.6	1575	1807.4	1877.6
IV	1450	1712.4	1752.6	1805	2112.4	2152.6
V	0	826.4	846.6	0	871.4	891.6
VI	0	832.4	837.6	0	877.4	882.6

1.3 La interfase de aire WCDMA

Las transmisiones tanto del Enlace de Subida como el de Bajada están organizadas en el dominio del tiempo en tramas, las cuales tienen una duración de 10 milisegundos. Dada la tasa de chip de 3.84 Mchips por segundo, una trama contiene 38, 400 chips. La trama es la unidad de tiempo fundamental para el procesamiento de canales dentro de la capa física de WCDMA.

Cada trama es subdividida en 15 ranuras de tiempo, o periodos de control de potencia, de una longitud de 2560 chips cada uno. La ranura es el periodo de tiempo dentro del cual todos los procedimientos de lazo cerrado de capa 1 ocurren: el control de potencia de lazo interno y la diversidad de transmisión de lazo cerrado. Dentro de cada ranura hay una estructura multiplexada de tiempo para la señal, dentro del cual los símbolos de datos, la información de señalización de capa física y los símbolos piloto son multiplexados en una sola trama de símbolos.

Los factores de ensanchamiento en la interfase de aire de WCDMA varían desde un valor de 4 hasta 256 (en algunos casos 512 para algunos canales especiales de señalización del Enlace de Bajada), lo que permite tasas de símbolo transmitidos entre 960 ksymbols/s y 15 ksymbols/s en un solo código. Estas tasas de símbolo incluyen señalización de capa física y pilotos multiplexados en tiempo, de tal forma que la tasa de datos de usuarios depende del formato de la ranura [2].

1.4 Servicios y aplicaciones UMTS

Las tasas de bit usuario más altas son la nueva característica mejor conocida de UMTS, mismas que pueden alcanzar en conexiones de Conmutación de Circuitos los 384 kbps, y en conexiones de Conmutación de Paquetes hasta los 2 Mbps. Naturalmente, las tasas de bit más altas facilitan la implementación de algunos nuevos servicios, tales como los de video, telefonía y la descarga rápida de datos.

Comparado con las redes GSM y otras redes móviles existentes, UMTS provee una nueva e importante característica, que permite la negociación de las propiedades de un portador de radio. Los atributos que definen las características de la transferencia incluyen transferencia máxima, retraso de transferencia y tasa de error de datos. Para que UMTS sea un sistema exitoso, tiene que soportar una amplia gama de aplicaciones que tienen diferentes requerimientos de Calidad de Servicio. Los portadores de UMTS tienen que ser genéricos por naturaleza, para permitir un buen soporte para las aplicaciones existentes y facilitar la evolución hacia aplicaciones nuevas. Dado que la mayoría de las aplicaciones de telecomunicaciones hoy en día son el Internet o el ISDN, es natural que estas aplicaciones y servicios dicten ante todo los procedimientos para el manejo del portador.

Los servicios de red se consideran de extremo a extremo, esto es, desde un Equipo Terminal TE (Terminal Equipment) hasta otro Equipo Terminal. Un servicio de extremo a extremo cuenta con una cierta Calidad de Servicio que se provee al usuario de un servicio de red.

Para conocer la Calidad de Servicio de determinada red, un servicio de portador con funcionalidades y características claramente definidas es configurado desde la fuente hasta el destinatario del servicio. Un servicio de portador incluye todos los aspectos que permiten el aprovisionamiento de una Calidad de Servicio contratada. Estos aspectos son entre otros la señalización de control, plano de transporte de usuario y la funcionalidad de administración de Calidad de Servicio.

1.5 Servicio portador UMTS

UMTS permite a un usuario/aplicación negociar las características del portador que son más apropiadas para transportar la información. También es posible cambiar las características del portador a través de un procedimiento de renegociación del portador durante el curso de una conexión activa. La negociación del portador es iniciada por una aplicación, mientras que la renegociación puede ser iniciada ya sea por la aplicación o por la red.

La clase del portador, los parámetros del portador y los valores del portador están directamente relacionados a una aplicación así como a las redes que se encuentren entre el remitente y el receptor. El conjunto de parámetros deberán ser seleccionados de tal forma que los procedimientos de negociación y renegociación sean simples y no ambiguos. Además, el concepto de Calidad de Servicio debe ser lo suficientemente flexible y versátil que permita la negociación del portador en el futuro con las aplicaciones hasta ahora desconocidas [1].

1.6 Clases de Calidad de Servicio de UMTS

La palabra servicio tiene muchas acepciones; en nuestro contexto el término servicio hace referencia a los servicios que una red / un operador / o un proveedor de servicios ofrece a sus clientes.

Cada servicio impone algunos requerimientos a la trayectoria de transmisión que transporta los servicios de información. Algunos servicios establecen requerimientos más estrictos que otros.

Una red típicamente transporta muchos servicios y solicitudes de servicio de muchos usuarios simultáneamente. Por consiguiente, los recursos de las redes al ser limitados, se tiene como objetivo asignar solo los recursos suficientes para cubrir cada solicitud.

UMTS introdujo un concepto de Calidad de Servicio relativamente simple conformado por cuatro clases de tráfico y algunos atributos de QoS para definir las características de tráfico de las clases de tráfico [9]. Estas cuatro clases de tráfico son las siguientes [1]: Conversacional –Conversational-, de Flujo Continuo –Streaming-, Interactivo –Interactive- y de Fondo –Background-

Las características principales y aplicaciones de estas cuatro clases de tráfico se resumen en la tabla 5.

Tabla 1.5 Clases de Calidad de Servicio, QoS de UMTS

Clase de tráfico	Clase Conversacional Tiempo Real	Clase de Flujo Continuo Tiempo Real	Clase Interactivo Mejor Esfuerzo	Clase Background Mejor Esfuerzo
Características Principales	- Mantener la relación de tiempo (variación) entre entidades de información del flujo de información - Patrón conversacional (estricto y bajo retraso)	- Mantener la relación de tiempo (variación) entre entidades de información del flujo de información	- Solicita un patrón de respuesta del usuario final -Mantener el contenido de la carga Variación de retraso moderado	- El destinatario no está en espera de la información dentro de un tiempo determinado. - Mantener el contenido de la carga
Ejemplo de la Aplicación	- Voz, Voz sobre IP VoIP, video conferencia	- Descarga y reproducción de audio y video	- Navegar en la web, acceso a servidores	- Telemetría, SMS, correo electrónico, descarga de archivos

1.7 El Equipo de Usuario

El término oficial para el dispositivo capaz de interconectar a la red UMTS es el Equipo de Usuario denotado por UE. En el sistema GSM, éste era referido como la Estación Móvil MS (Mobile Station) y continúa siendo utilizado ampliamente en mucha de la documentación compartida entre los sistemas GSM y UMTS. El término UE fue seleccionado principalmente, por que se esperaba que UMTS incluyera nuevas clases de dispositivos superiores a los teléfonos móviles y computadores portátiles de tecnologías de 2G.

En muchos lugares, el operador de red brinda un servicio completo a los usuarios finales, lo cual incluye el teléfono o UE, creando una relación directa entre el operador y el usuario final y colocando de esta forma al operador como el primer punto de contacto en caso de que el UE no funcione correctamente [3].

El éxito comercial de GSM en la década pasada ha provocado que la competencia entre fabricantes de terminales aumente y se tengan terminales más baratas y de desempeño superior. La gran cantidad de modelos de terminales disponibles dirige un mercado segmentado que va desde las terminales más baratas hasta los modelos de moda con juegos y los teléfonos de alto desempeño corporativos.

Las mejoras tecnológicas han ayudado a desarrollar características de mercado adicionales para la operación multi-banda –hasta cuatro bandas para GSM- y operación multi-modo (3G/GSM), lo cual se espera sea estándar en las nuevas terminales [2].

Las terminales UMTS tienen requerimientos muy diversos. Esto hace que aumente la complejidad del equipo y tenga su efecto en el precio del mismo. Una característica sobresaliente de una terminal 3G es que tiene disponible, aun en su forma básica, dos clases diferentes de dominios de red activos: el dominio de Conmutación de Paquetes para servicios de paquetes y el dominio de Conmutación de Circuitos para los servicios de circuitos. Desde el punto de vista de la terminal, esto resulta en tres diferentes modos de operación [9]:

1. Modo de operación PS/CS. En este modo la terminal está conectada tanto al dominio de PS como al de CS y la terminal es capaz de suministrar simultáneamente servicios de PS y CS a través de ambos dominios
2. Modo de operación PS. En este modo la terminal está conectada solo al dominio de PS y podrá solamente brindar servicios a través del dominio de PS. Sin embargo, servicios del tipo de circuito pueden ser brindados a través del dominio de PS como por ejemplo el servicio de Voz sobre el Protocolo de Internet VoIP.
3. Modo de operación CS. En este modo la terminal está conectada solo al dominio de CS y podrá solamente brindar servicios a través del dominio de CS. Sin embargo, servicios del tipo de paquete pueden ser brindados a través del dominio de CS.

Una vez presentado en esta sección el panorama general de los sistemas de comunicación inalámbrica y su evolución hacia las redes UMTS o de 3G, en la siguiente sección se describen los fundamentos de la tecnología WCDMA, contemplando la arquitectura del sistema UMTS y los elementos funcionales que la componen, tanto en la Red de Acceso como en la Red Central.

Se pone especial atención en la capa física de la tecnología WCDMA, la cual hace uso de diferentes niveles de codificación para separar las comunicaciones intercambiadas entre la terminal móvil y la estación base -NodoB- y se describen los distintos canales empleados por la tecnología, siendo de particular interés para este estudio -el CPICH- uno de los canales de capa física. Así mismo, se describe el método empleado para la generación de los mapas de estimación de cobertura y su mapeo en un Sistema de Información Geográfica GIS para su interpretación y análisis.

2. Fundamentos de la Tecnología WCDMA y Marco Teórico

2.1 Arquitectura del sistema UMTS

El sistema UMTS utiliza la misma arquitectura de red ya conocida y que ha sido usada por los principales sistemas de segunda generación [2].

Los elementos de la red están agrupados funcionalmente en tres dominios como se muestra en la figura 2.1:

1. La Red de Acceso de Radio, RAN (Radio Access Network) (UMTS Terrestrial RAN = UTRAN) la cual maneja todas las funcionalidades relacionadas al radio,
2. La Red Central CN (Core Network), responsable de la conmutación y ruteo de las llamadas y conexiones de datos a las redes externas, y para completar el sistema, y
3. La terminal móvil o Equipo de Usuario UE, que relaciona al usuario y a la interfase de radio Uu.

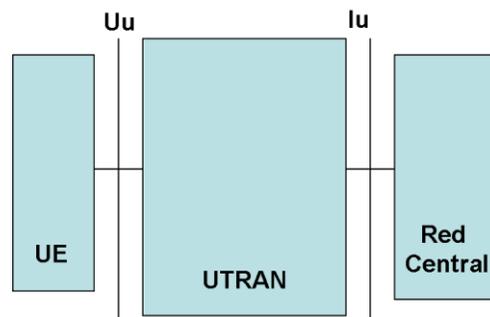


Figura 2.1 Arquitectura del sistema UMTS

Desde el punto de vista de especificación y estandarización, tanto el UE como la UTRAN se componen completamente de nuevos protocolos, cuyo diseño está basado en las necesidades de la nueva tecnología de radio WCDMA, a diferencia de la Red Central cuya definición es adoptada de la tecnología GSM.

El sistema UMTS se conforma de varios elementos de red del mismo tipo, por lo que, los requerimientos mínimos para contar con una red completamente caracterizada y operable es tener al menos un elemento de red lógico de cada tipo. La posibilidad de poder tener diferentes entidades del mismo tipo, permite la división de los sistemas UMTS en subredes que son operables por si solas o junto con otras subredes y que se distinguen unas de otras con identidades únicas. Estas subredes son llamadas Redes Móviles Públicas Terrestres, UMTS PLMN (Public Land Mobile Network). Generalmente una PLMN es operada por un solo operador y está conectada a otros PLMN así como también a otros tipos de redes, tales como la ISDN, PSTN, el Internet y otras.

Los elementos de una Red Móvil Pública Terrestre, así como las redes externas a las que conecta se muestran en la figura 2.2.

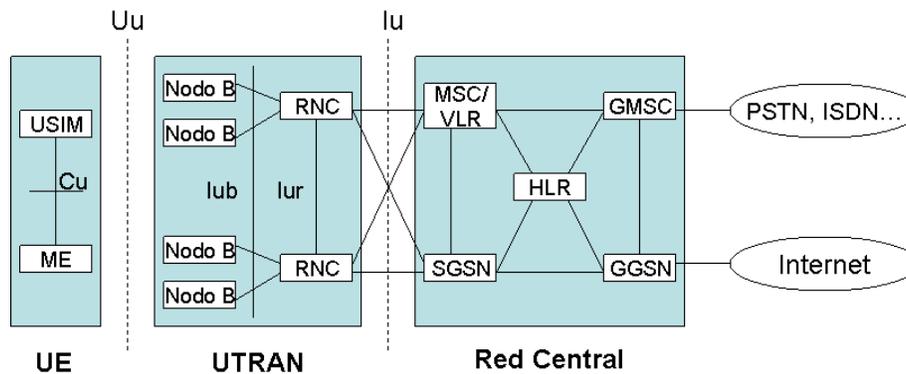


Figura 2.2 Elementos de red de una Red Móvil Pública Terrestre PLMN

La terminal móvil UE está conformada de dos partes:

- ✓ El Equipo Móvil ME (Mobile Equipment). Es la terminal de radio utilizada para la comunicación de radio a través de la interfase Uu con la UTRAN.
- ✓ El Módulo de Identidad de Suscriptor Universal, llamado USIM (Universal Subscriber Identity Module). Es una tarjeta inteligente que guarda la identidad del suscriptor, realiza algoritmos de autenticación y almacena llaves de encriptación y autenticación y alguna otra información de la suscripción que es requerida en la terminal.

La UTRAN también se compone de dos elementos distintos:

- ✓ El Nodo B. Es el término utilizado en UMTS para designar a la estación transceptora base, BTS (Base Transceiver Station). El Nodo B contiene transmisores y receptores de frecuencia de radio para comunicar directamente con los dispositivos móviles, convierte los flujos de datos entre las interfases Iub y Uu, participando también en la administración de los recursos de radio.
- ✓ La Controladora de la Red de Radio RNC (Radio Network Controller) posee y controla los recursos de radio en su dominio (los Nodos Bs conectados a ésta). La RNC es el punto de acceso de servicio para todos los servicios que la UTRAN provee a la Red Central.

Principales elementos de la Red Central de GSM:

- ✓ El Registro de Ubicación Local HLR (Home Location Register) es una base de datos localizada en el sistema local del usuario que almacena la copia principal del perfil de servicio de usuario. Se crea cuando un nuevo usuario se suscribe al sistema, y permanece almacenada mientras la suscripción se encuentre activa.

- ✓ El Centro de Conmutación de Servicios Móviles / Registro de Ubicación de Visitantes MSC / VLR (Mobile Switching Center / Visitor Location Register) son la Central de Conmutación y la entidad de base de datos VLR que sirven al UE en su ubicación actual para brindarle servicios de Conmutación de Circuitos. La función del MSC es conmutar las transacciones de CS, y la función del VLR es guardar una copia del perfil de servicio de usuario visitante, así como información más precisa de la ubicación del UE dentro del sistema que lo atiende.
- ✓ La Puerta MSC GMSC (Gateway MSC) es el conmutador en el punto en el que la UMTS PLMN se conecta con redes externas de CS. Todas las conexiones entrantes y salientes de CS pasan a través del GMSC.
- ✓ SGSN (Nodo de Soporte para Servir GPRS) su funcionalidad es similar a la del MSC / VLR pero es utilizado generalmente para servicios de Conmutación de Paquetes.
- ✓ El Nodo de Soporte de Puerta GPRS GGSN (Gateway GPRS Support Node) su funcionalidad es similar a la del GMSC pero está relacionado a los servicios de PS.

Las redes externas a las que puede conectar la PLMN se dividen en dos grupos:

- ✓ Redes de Conmutación de Circuitos. Proveen conexiones de conmutación de circuitos, como el servicio de telefonía actual.
- ✓ Redes de Conmutación de Paquetes. Proveen conexiones para servicios de paquetes de datos.

Los estándares de UMTS están estructurados de tal forma que la funcionalidad interna de los elementos de red no están especificados en detalle. En su lugar, las principales interfases abiertas existentes entre los elementos de red lógicos son especificadas:

- ✓ Interfase Cu. Es la interfase eléctrica entre la tarjeta inteligente USIM y el ME.
- ✓ Interfase Uu. Ésta es la interfase de radio WCDMA. Es la interfase a través de la cual el UE tiene acceso a la parte fija del sistema y por tanto la interfase abierta más importante en UMTS.
- ✓ Interfase Iu. Conecta la UTRAN con la Red Central soportando servicios tanto de CS como de PS.
- ✓ Interfase Iur. La interfase abierta Iur permite el traspaso de llamada entre RNCs de diferentes fabricantes y por tanto complementa a la interfase Iu.

- ✓ Interfase Iub. Conecta un Nodo B y una RNC. UMTS es el primer sistema de telefonía móvil comercial en donde la interfase Controladora-Estación Base está estandarizada como una interfase completamente abierta.

2.2 Arquitectura de la Red de Acceso de Radio Terrestre Universal UTRAN

LA UTRAN se conforma de uno o más Subsistemas de Red de Radio, RNS (Radio Network Subsystem). Una RNS es una subred dentro de la UTRAN y se compone de una Controladora de Red de Radio, RNC y uno o más Nodos Bs. Las RNCs pueden conectarse entre ellas a través de una interfase I_{ur} . Las RNCs y los Nodos Bs están conectados por medio de una Interfase I_{ub} como se muestra en la figura 2.3. Existen otras dos interfaces que conectan la UTRAN externamente con otras unidades funcionales y son la U_{ub} , e I_{ur} , permitiendo de esta forma la conectividad entre la terminal móvil y la Red Central [1].

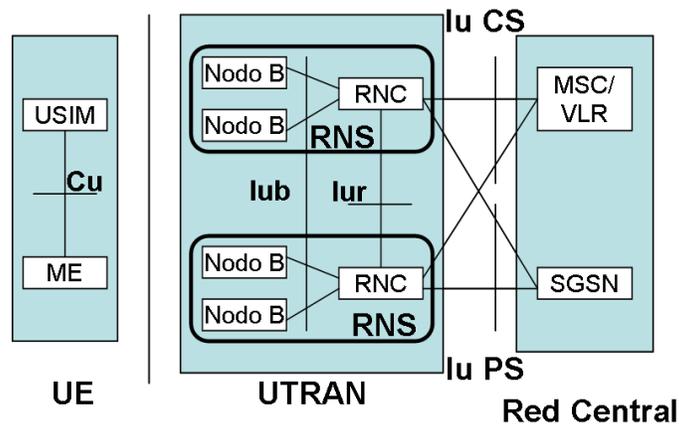


Figura 2.3 Arquitectura de la UTRAN

Los siguientes puntos resumen las principales características de la UTRAN y que han sido los requerimientos fundamentales para el diseño de los protocolos, funciones y arquitectura de la misma:

- ✓ El mayor impacto en el diseño de UTRAN ha sido el requerimiento para soportar el traspaso programado -*soft handover*- (ésto es, una terminal conectada a la red a través de dos o más celdas activas) y los algoritmos de la Administración de Recursos de Radio, RRM (Radio Resource Management) específicos de WCDMA
- ✓ Maximización de los puntos en común en el manejo de los datos de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes, con una pila de protocolos de interfase de aire única y con la utilización de esta misma interfase para la conexión desde la UTRAN para tanto los dominios de PS como CS de la Red Central.
- ✓ Maximización de los puntos en común con la tecnología GSM, en la medida de lo posible.

- ✓ Utilización del Modo de Transferencia Asíncrono ATM (Asynchronous Transfer Mode) como el principal mecanismo de transporte UTRAN.

2.2.1 La Controladora de Red de Radio, RNC

La RNC es el elemento de red responsable del control de los recursos de radio de la UTRAN. Ésta conecta con la Red Central –normalmente a una MSC y a una SGSN- y también pone fin al protocolo de Control de Recursos de Radio, RRC (Radio Resource Control) que define los mensajes y procedimientos entre la terminal móvil y la UTRAN [1].

2.2.1.1 Papel lógico de la RNC

La RNC que controla un Nodo B se le conoce como la RNC Controladora CRNC (Controlling RNC) del Nodo B. Ésta es responsable del control de congestión y carga de sus propias celdas, y también lleva a cabo las tareas de control de admisión y de la asignación de códigos para nuevos enlaces de radio a ser establecidos en esas celdas.

En el caso de que una conexión del tipo móvil-UTRAN utilice recursos de más de una RNS, las RNCs involucradas tienen dos papeles lógicos independientes que son:

- ✓ La RNC que atiende -*Serving RNC*-: LA SRNC para un móvil es aquella que pone fin tanto al enlace Iu para el transporte de los datos de usuario como a la correspondiente señalización de la Parte de Aplicación RAN RANAP (RAN Application Part) hacia/desde la red central (esta conexión es conocida como la conexión RANAP). LA SRNC también pone fin a la Señalización de Control de Recursos de Radio, que es el protocolo de señalización entre el UE y la UTRAN. Las operaciones de administración de recursos de radio básicos tales como el mapeo de los parámetros del portador de acceso de radio dentro de los parámetros del canal de transporte de la interfase de aire, la decisión del traspaso de llamada y el control del lazo de potencia externa, son realizados por la SRNC. Un UE conectado a la UTRAN tiene una y solo una SRNC.
- ✓ La RNC Drift. La DRNC es cualquier RNC, diferente a la SRNC, que controla celdas utilizadas por el móvil. En caso de requerirse la DRNC puede realizar combinación y separación de macro-diversidad. LA DRNC no realiza procesamiento a nivel capa dos L2 de los datos del plano de usuario, sino que enruta los datos de manera transparente entre las interfases Iub e Iur, excepto cuando el UE está utilizando un canal de transporte común o compartido. Un UE puede tener ninguna, una o más DRNCs.

2.2.2 El Nodo B (estación base)

La función principal del Nodo B es realizar el procesamiento de capa 1 de la interfase de aire. Esta entidad es la controladora para una celda y está generalmente localizada cerca del mástil de la antena, implementa los canales físicos de acceso de radio y transfiere la información de los canales de transporte a los canales físicos en base a lo dispuesto por la RNC. También realiza operaciones de Administración de Recurso de Radio, como el control del lazo de potencia interno y en él se encuentran las etapas de modulación, mezclado y transceptores de radiofrecuencia. Los Nodos Bs conectan a una sola RNC a través de la interfase I_{ub} [3]. Un nodo B puede atender varias celdas, también llamados sectores dependiendo de la configuración y tipo de antena. Las configuraciones más comunes incluyen celda omni (360°), 3 sectores ($3 \times 120^\circ$), 6 sectores (3 sectores de 120° de traslape amplio con tres sectores de diferente frecuencia).

2.2.2.1 Estructura de la estación base

La estación base puede ser considerada como el límite de radio de la UTRAN y por lo tanto su tarea esencial es realizar la transmisión y recepción Tx y Rx de la señal de radio, filtrado y amplificación de la señal, modulación y demodulación de la señal, y ser interfase hacia la RAN [9].

La estructura interna de la estación base depende mucho del fabricante, pero básicamente se conforma de los siguientes componentes mostrados en la Figura 2.4

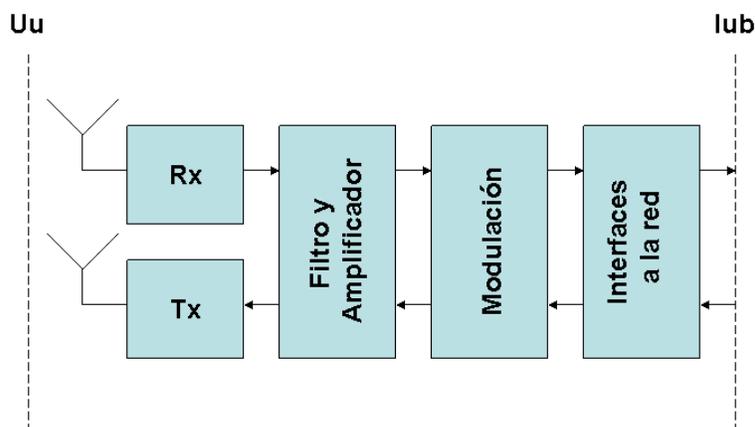


Figura 2.4 Estructura de la estación base

La estructura de la estación base desde el punto de vista de la red, puede ser dividida en varias entidades lógicas como se muestra en la Figura 2.5. Del lado de la interfase I_{ub} , un Nodo B Base es una colección de dos entidades: la de transporte común y una cantidad de Puntos de Terminación de Tráfico, TTP (Traffic Termination Points).

La entidad de transporte común representa aquellos canales de transporte que son comunes para todas las Terminales Móviles en la celda, así como también aquellos canales que son utilizados para el acceso inicial. También contiene un puerto de control utilizado por la CRNC para configurar e inicializar los recursos soportados por el Nodo

B. Cada Nodo B debe soportar cierta cantidad de canales de transporte común (Canal de Acceso Aleatorio RACH –Random Access Channel-, Canal de Acceso hacia Adelante FACH -Forward Access Channel-, Canal de Búsqueda PCH -Paging Channel-), que depende del número de celdas o sectores presentes en el Nodo B.

Un Punto de Terminación de Tráfico se conforma de una cantidad de Contextos de Comunicación de Nodo B y controla una determinada cantidad de móviles que cuentan con recursos dedicados en el Nodo B, y el tráfico correspondiente es transportado a través de los puertos de datos dedicados. Así, un contexto de comunicación de Nodo B puede contener por ejemplo al menos un Canal Dedicado, DCH (Dedicated Channel). Desde el punto de vista de la infraestructura de red de UMTS, la estación base puede ser considerada como una entidad de Operación y Mantenimiento O&M (Operation and Maintenance) lógica que está sujeta a las operaciones de administración de la red. Se debe resaltar que no existe relación entre el punto de terminación de tráfico y las celdas, por ejemplo, un punto de terminación de tráfico puede controlar más de una celda, y una celda puede ser controlada por más de un punto de terminación de tráfico.

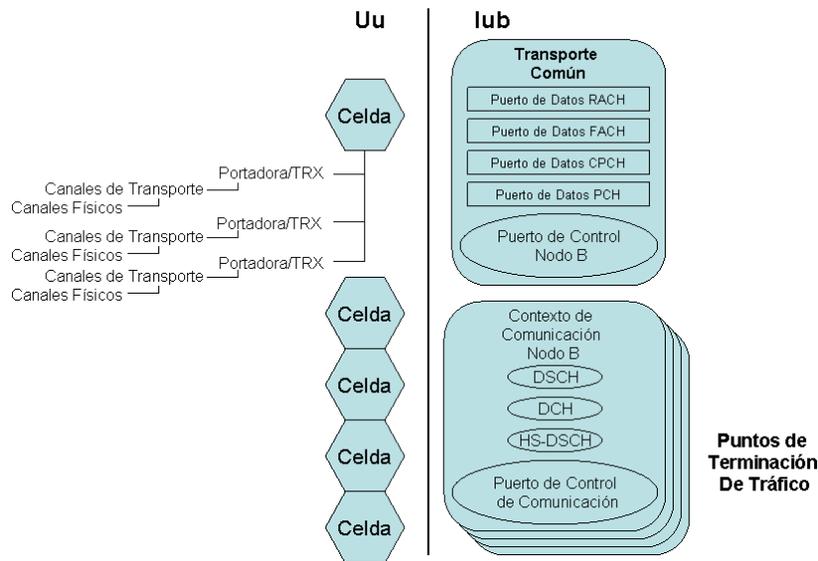


Figura 2.5 Arquitectura lógica de la estación base

Desde el punto de vista de la red de radio y su control, la estación base se conforma de otras entidades lógicas llamadas “celdas”. La celda es la entidad de red de radio más pequeña que tiene su propio número de identificación llamado Identificador de Celda Cell ID (Cell Identity), que es públicamente visible para el UE. Cuando la red de radio es configurada, es en realidad los datos de la celda(s) que son cambiados. El término sector significa la incidencia física de la celda.

Cada celda tiene un código de mezclado, y el UE reconoce una celda por dos valores:

1. Por el código de mezclado –cuando se registra en una celda- y
2. Por el identificador de celda.

Una celda puede tener varios Transmisores-Receptores –TRXs también llamadas “portadoras”- dentro de ésta. El TRX de la celda entrega la información a transmitir al UE; esto es, el Canal Físico de Control Común Primario, P-CCPCH (Primary Common Control Physical Channel) que contiene la información del Canal de Difusión, BCH (Broadcast Channel) es transmitido aquí. Una portadora se ocupa de los canales físicos a través de la interfase U_u y estos llevan los canales de transporte que contienen la información actual, los cuales pueden ser comunes o dedicados.

Una celda puede estar conformada como mínimo de un TRX. El TRX es una parte física de la estación base que realiza varias funciones, tales como la conversión de flujos de datos de la conexión I_{ub} terrestre a la trayectoria de radio y viceversa.

2.2.2.2 Método de modulación utilizado en WCDMA

La tecnología WCDMA utiliza como métodos de modulación el Desplazamiento de Fase en Cuadratura QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), su variante QPSK Dual, así como la Modulación de Amplitud en Cuadratura de 16 niveles, 16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation), tanto en el Enlace de Subida como en el de Bajada. El tipo de modulación QAM, el método de adaptación del enlace llamado Codificación y Modulación Adaptativa AMC (Adaptive Modulation and Coding) y la Solicitud de Repetición Automática Híbrida, son las nuevas características más significativas que tiene WCDMA y que han sido especificadas por el grupo de 3GPP en el Release 5, junto con las mejoras realizadas en el Acceso de Paquetes del Enlace de Bajada de Alta Velocidad HSDPA.

Mientras que algunos canales físicos de Enlace de Bajada tales como: el Canal Físico de Control Común-Primario P-CCPCH, el Canal Físico de Control Común Secundario S-CCPCH, el Canal Piloto Común CPICH (Common Pilot Channel), el Canal Indicador de Adquisición AICH (Acquisition Indicator Channel), el Preámbulo de Acceso AICH AP-AICH (Access Preamble-AICH), el Canal de Indicación de Estado del CPCH CSICH (CPCH Status Indication Channel), el Canal Indicador de Asignación de Canal/Detección de Colisión CD/CA-ICH (Collision Detect/Assignment Indicator Channel), el Canal Indicador de Búsqueda PICH (Page Indicator Channel), el Canal Compartido de Enlace de Bajada Físico PDSCH (Physical Downlink Shared Channel), el Canal de Control Compartido de Alta Velocidad HS-SCCH (High Speed-Shared Control Channel) y el Enlace de Bajada del Canal Físico Dedicado DPCH (Dedicated Physical Channel) utilizan el tipo de modulación QPSK; el canal físico de Enlace de Bajada del Canal Compartido de Enlace de Bajada Físico de Alta Velocidad HS-PDSCH (High Speed-Physical Downlink Shared Channel) puede utilizar ya sea la modulación QPSK o 16 QAM dependiendo de la tasa de bit solicitada y de las condiciones del canal de radio [9].

El método de modulación QPSK expresa un solo bit y con él su estado, utilizando una fase diferente de la portadora. Los bits en el proceso de modulación son manejados en parejas, lo que genera cuatro posibles combinaciones o estados de 2-bits que deben ser señalados.

Cuando el proceso de modulación QPSK es aplicado, como se muestra en la figura 2.6, el flujo de datos es lo primero en ser modulado –los canales físicos son primeramente convertidos de un formato serial a uno paralelo-. Después de esta conversión el proceso de modulación divide el flujo de datos en dos brazos: Q e I. En el brazo I los bits que tienen el valor de “1” representan un cambio de fase de $+180^\circ$ y un valor de “0” significa que no ha habido cambio en la fase de la portadora. En el brazo Q el bit que tiene el valor de “1” representa un cambio de fase de $+90^\circ$ y un valor de “0” significa un cambio de fase de -90° . Estos brazos, el I y el Q, son alimentados por el oscilador, el brazo I de manera directa y el brazo Q con un corrimiento de 90° . Cuando el flujo de datos de entrada es combinado con la salida de oscilador, las combinaciones de 2 bits (un bit proveniente del brazo I y otro del brazo Q) representan el cambio de fase mostrado a la derecha de la figura. Las líneas punteadas en el cuadrado indican las “trayectorias” a lo largo de las cuales el sistema mismo se puede transferir desde un estado –fase- a otro.

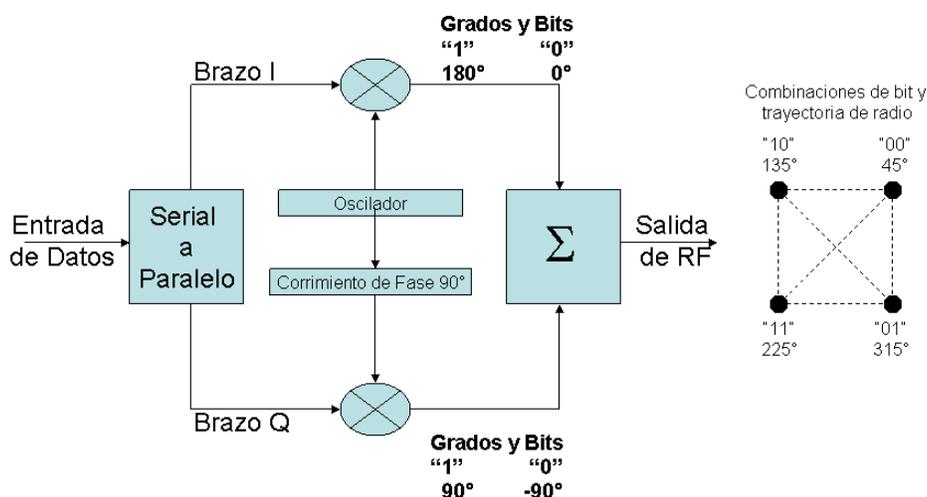


Figura 2.6 Modulación QPSK

Ciertas combinaciones de 2 bits son difíciles de manejar, por ejemplo cuando los valores de bit cambian de “00” a “11”, lo que significa que ha habido un des-fasamiento de 180° , y es considerado como un cambio de amplitud muy marcado lo cual provoca problemas; especialmente si el ancho de banda utilizado en la conexión de radio es amplia. En este caso la estación base debe contar con amplificadores lineales para garantizar que los cambios de amplitud son representados correctamente a través del ancho de banda utilizado.

Para eliminar el problema del cambio tan rápido de amplitud, se utiliza otra variante de la modulación QPSK: ésta es llamada modulación de Desplazamiento de Fase en Cuadratura Dual. Como resultado, en lugar de tener una multiplexación en tiempo, el Canal Control Físico Dedicado DPCCCH (Dedicated Physical Channel) y los Canales de Datos Físicos Dedicados DPDCHs (Dedicated Physical Data Channels) son multiplexados en código I/Q con mezclado complejo. Esto genera un retraso de tiempo cercano al 0.5 bit (chips) en el brazo Q del modulador. De esta forma se evitan los cambios de fase de 180° y los limita a pasos de 90° . Por lo que, la transición de la

combinación “11” a “00” ahora es “11” - “10” – “00” y ocurre dentro de la misma trama de tiempo como en QPSK.

Esta modulación QPSK Dual permite también a los amplificadores funcionar en las regiones de operación no lineal. Esta operación aparentemente simple tiene un impacto significativo en el diseño de las terminales, dado que reduce la Relación Promedio Pico PAR (Peak Average Ratio), teniendo así amplificadores con alta potencia. Por otro lado, aunque la modulación QPSK convencional podría haberse utilizado en ambas direcciones, la terminal UE hubiese sufrido problemas de consumo de potencia y la haría más cara debido a que los amplificadores de potencia lineales necesitan ser muy precisos. Al utilizar la modulación QPSK dual, estos problemas de amplificación pueden ser evitados. Por lo tanto, la modulación convencional QPSK se deja para el lado de la transmisión de la estación base, ya que la señal que ésta transmite debe ser muy precisa y la terminal UE debe conseguir una sincronización precisa también y la modulación QPSK Dual se deja para la transmisión de la terminal UE.

2.3 La capa física de WCDMA

WCDMA es una tecnología de interfase de aire cuyo principio se basa en aumentar el ancho de banda de una señal, mediante la modulación de cada símbolo de banda base, con una marca binaria o cuaternaria de una velocidad mucho más alta que aquella de los símbolos de datos originales. Cada muestra de la marca es llamada *chip*, y la cantidad de *chips* que son modulados por un solo símbolo de datos, es referida como el Factor de Ensanchamiento, SF (Spreading Factor) del sistema en cuestión [2].

En un sistema WCDMA, los recursos –potencia, tiempo y frecuencia- están destinados para todos los usuarios simultáneamente, y la potencia de transmisión, es controlada para mantener un valor determinado de Relación Señal a Ruido, SNR (Signal to Noise Ratio) con la potencia requerida al mínimo. Dado que todos los usuarios ocupan el mismo ancho de banda y transmiten señales al mismo tiempo, la señal de cada usuario debe tener una característica particular para ser separada de aquellas que pertenecen a los otros usuarios. Esto se consigue a través de códigos de secuencia directa que son ortogonales, lo cual permite la separación de las señales en el receptor. Los códigos también realizan el ensanchamiento de las señales, para brindar resistencia a la interferencia y robustez a los defectos del canal.

Al transmitir la señal en el ancho de banda completo utilizando un código CDMA de pseudo-ruido PN (Pseudo Noise), las señales originales de cada usuario pueden ser vistas como ruido pseudo-blanco. Al promediar la interferencia de todos los usuarios, las fluctuaciones de interferencia pueden ser limitadas, incrementando la confiabilidad del enlace y haciendo que el uso del ancho de banda completo sea más eficiente.

Dado que el mismo ancho de banda es utilizado en toda la red, un usuario en el límite de la celda puede mantener múltiples conexiones en paralelo con varias estaciones base. Esto puede incrementar la capacidad de la celda y la calidad de la conexión en caso de

traspaso de llamada. El nombre de “handoff” o macro-diversidad se le da a este tipo de traspaso de llamada [4].

2.3.1 Ensanchamiento y mezclado

En WCDMA se utiliza un sistema de codificación de dos niveles a través de códigos de ensanchamiento ortogonal y de códigos de mezclado pseudo-aleatorio. Con el fin de soportar velocidades de datos variables, la interfase de aire de WCDMA permite factores de ensanchamiento seleccionables por canal, y a esta familia de códigos de ensanchamiento se les conoce como códigos de Factores de Ensanchamiento Variables Ortogonales, OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factors). La utilización de códigos OVSF y de mezclado es diferente en el Enlace de Bajada que en el de Subida. En el Enlace de Bajada, los códigos OVSF, también llamados códigos de canalización, son utilizados para multiplexar diferentes canales transmitidos en la misma celda. En el Enlace de Subida, los códigos OVSF son utilizados para separar los canales de control y de datos de un usuario en específico [2].

El mezclado, mediante el empleo de secuencias pseudo-aleatorias, es utilizado adicionalmente al ensanchamiento. Desde la perspectiva Booleana, esto involucra ejecutar una operación OR-Exclusiva, XOR de los datos y de la secuencia PN bit a bit. El flujo de datos resultante tiene las propiedades pseudo-aleatorias de la secuencia PN, pero también contiene los datos originales. Al repetir la operación XOR en el lado receptor, los datos originales son recuperados. En el Enlace de Bajada los diferentes códigos de mezclado identifican a las diferentes celdas, y en el Enlace de Subida separan a los diferentes usuarios.

Los códigos ortogonales en el Enlace de Bajada dentro de cada estación base son administrados por la Controladora de Red de Radio en la red.

El mezclado se utiliza adicionalmente al proceso de ensanchamiento, de tal manera que no cambia el ancho de banda de la señal, sino que solo hace que las señales de diferentes fuentes se separen unas de otras [1]. La relación de la tasa de chip en el canal para el ensanchamiento y mezclado en UTRA se muestra en la figura 2.7. Dado que la tasa de chip ya se ha conseguido en el proceso de ensanchamiento mediante el código de canalización, la tasa de símbolo no es afectada por el mezclado.

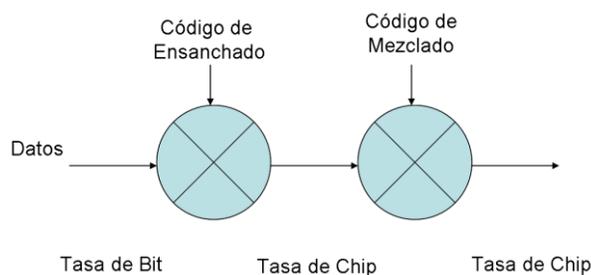


Figura 2.7 Relación entre el ensanchado y el mezclado

La relación de la velocidad de símbolos de datos a la velocidad de chip da como resultado el Factor de Ensanchamiento. Al mantenerse la tasa de *chip* constante, a 3.84 MHz para WCDMA y mediante la variación del Factor de Ensanchamiento para un código específico en el rango de 4 a 512, se pueden soportar un rango amplio de velocidades de datos. Los códigos OVFS utilizados para el ensanchamiento son nombrados $C_{sp,i,j}$, en donde i es el Factor de Ensanchamiento, $i = 2^n, n \in \{3, \dots, 9\}$ y j es el índice del Factor de Ensanchamiento $j \in \{1, \dots, (i-1)\}$. El $C_{sp,i,j}$ son secuencias ortogonales perfectas tales que [2]:

$$\sum_n^{i-1} C_{sp,i,u} C_{sp,i,v}^* = 0 \text{ para } u, v \in \{1, \dots, (i-1)\} \text{ y } u \neq v \tag{2.1}$$

Los códigos son seleccionados a partir de un árbol de códigos estandarizado por 3GPP como se muestra en la figura 2.8 [3]

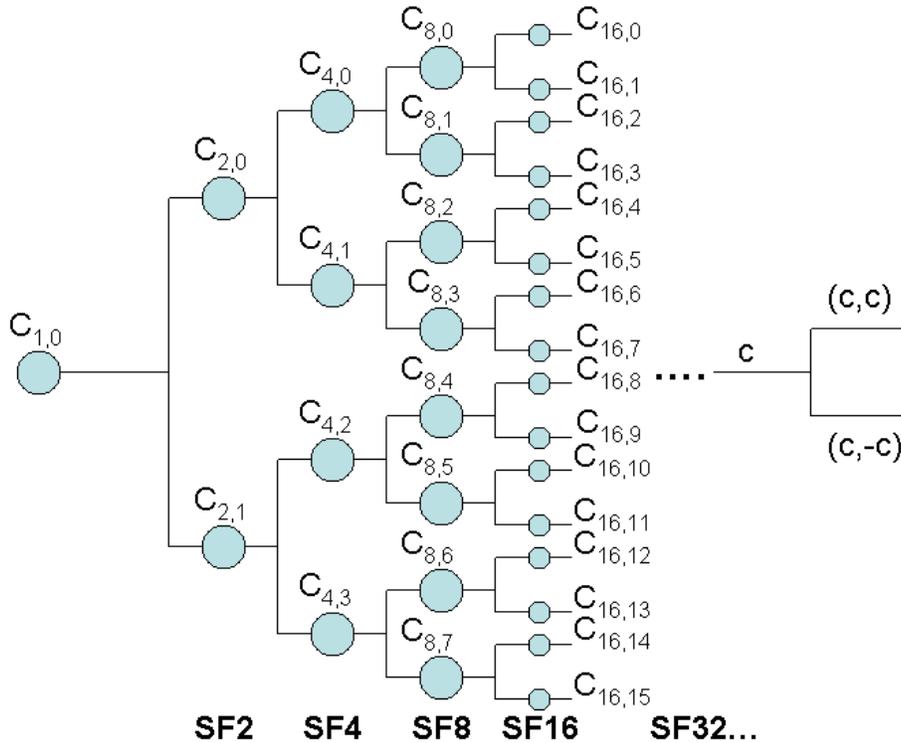


Figura 2.8 Árbol de códigos de canalización

2.3.1.1 Administración de los códigos

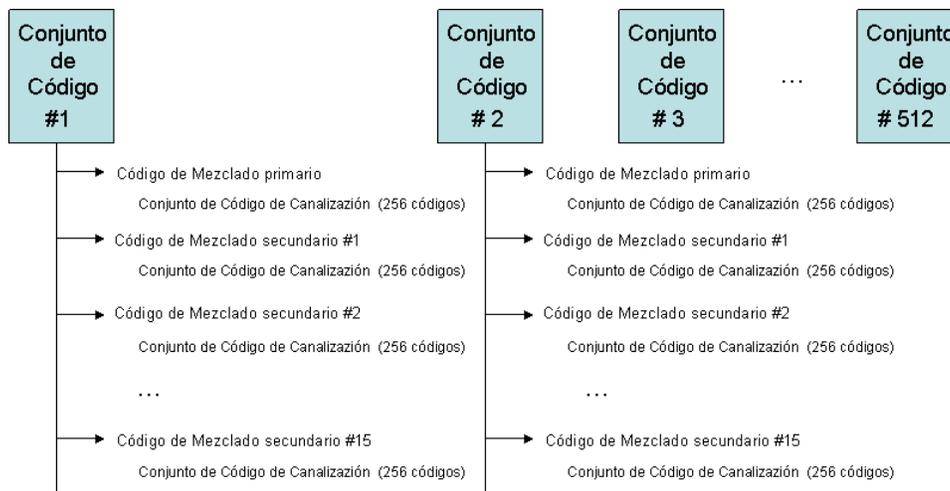
La Administración de los Recursos de Radio es una responsabilidad de administración de la UTRAN. Esta administración se ubica en la terminal móvil UE, en la estación base y en la RNC en la UTRAN. La Administración de los Recursos de Radio hace uso de distintos algoritmos que tienen como propósito estabilizar la trayectoria de radio habilitándola para cumplir con los criterios de QoS establecidos por el servicio. La

administración de los códigos en este caso, forma parte de los algoritmos de la Administración de Recursos de Radio

Los códigos de canalización y los Códigos de Mezclado utilizados en las conexiones de la interfase U_u son administrados por la RNC. Cuando los códigos son administrados por la RNC, también es más fácil asignar puertos de datos I_{ub} para conexiones multi-trayectoria. Sin embargo la generación de códigos actual se realiza principalmente en el Nodo B.

La interfase de aire U_u requiere de dos tipos de códigos para un funcionamiento adecuado: algunos códigos que deben correlacionar unos con otros hasta cierto punto; y otros que deben ser ortogonales o no correlacionar del todo. Cada celda utiliza un Código de Mezclado; la terminal móvil es capaz de realizar una distinción entre celdas, mediante el reconocimiento de este código. Debajo de cada Código de Mezclado, la RNC cuenta con un conjunto de códigos de canalización. La información del Canal de Difusión es codificada con un valor de Código de Mezclado, así, la terminal móvil debe primero encontrar el Código de Mezclado correcto para acceder a la celda. Cuando se establece una conexión entre la terminal móvil y la red, los canales utilizados deben ser separados, para tal propósito se utilizan los códigos de canalización.

Los diferentes tipos y maneras de utilizar los códigos y su impacto en el desempeño general del sistema WCDMA, implica que son utilizados mecanismos inteligentes para controlar la asignación y la re-asignación de códigos. En principio, la disponibilidad de códigos es limitada especialmente en el Enlace de Bajada, en donde un total de $2^{18}-1=262,143$ Códigos de Mezclado, numerados de 0 al 262,142 pueden ser generados. Sin embargo, no todos los Códigos de Mezclado son utilizados. Los Códigos de Mezclado son divididos en 512 conjuntos cada uno contando con un Código de Mezclado primario y 15 Códigos de Mezclado secundarios como se muestra en la figura 2.9.



512 conjuntos de códigos x 16 Códigos de Mezclado = 8,192 Códigos numerados desde 0,... 8,191 disponibles

Figura 2.9 Códigos de Mezclado y códigos de canalización

Los Códigos de Mezclado primarios consisten de $n = 16 * i$ Códigos de Mezclado en donde $i = 0, \dots, 511$. El i -ésimo conjunto de Códigos de Mezclado secundarios consiste de $16*i+k$ Códigos de Mezclado, donde $k = 1, \dots, 15$. Entre cada Código de Mezclado primario y los 15 Códigos de Mezclado secundarios se realiza un mapeo uno a uno de tal forma que el i -ésimo Código de Mezclado primario corresponde al i -ésimo conjunto de Códigos de Mezclado. Por lo tanto, hay $k = 0, 1, \dots, 8191$ Códigos de Mezclado disponibles.

A cada celda es asignado uno y solo un Código de Mezclado primario. El Canal Físico de Control Común siempre es transmitido utilizando el Código de Mezclado primario. Por consiguiente, los otros Canales Físicos de Enlace de Bajada pueden ser transmitidos, ya sea con el Código de Mezclado primario o con el Código de Mezclado secundario del conjunto asociado al Código de Mezclado primario de la celda.

Por otro lado, para el caso del Enlace de Subida la situación es diferente por que hay millones de Códigos de Mezclado para el Enlace de Subida disponibles. El número especificado de Códigos de Mezclado para el Enlace de Subida para WCDMA es de 2^{24} . Por lo tanto, la asignación de códigos en el Enlace de Subida no es tan crucial como la asignación de códigos en el Enlace de Bajada en WCDMA.

Los códigos de canalización son utilizados para la separación de canales tanto en la dirección del Enlace de Subida como en la de Bajada; tienen valores diferentes de Factor de Ensanchamiento y de este modo, también distintas tasas de símbolo. Existen 256 códigos de canalización disponibles y el Factor de Ensanchamiento indica cuantos de estos códigos se utilizan en la conexión. Así, cuanto mayor sea el valor del Factor de Ensanchamiento, mucho mejor los códigos de ensanchamiento son utilizados y los recursos de radios son usados. En el caso de tasas de datos de usuario altas, el Factor de Ensanchamiento se vuelve un valor relativamente pequeño. Esto conduce a una situación en la cual, las tasas de datos de usuario altas consumen más capacidad de código de la interfase de aire [9].

2.3.2 Multitrayectoria

La propagación de las ondas de radio en el canal móvil terrestre se caracteriza por múltiples reflexiones, difracciones y atenuaciones de la energía de la señal. Éstas son provocadas por obstáculos tales como edificios, montañas, etc., lo cual resulta en lo que se conoce como propagación multi-trayectoria. Existen dos efectos que resultan de la propagación multi-trayectoria y se mencionan a continuación [1]:

- Cuando la energía de la señal llega al receptor en instantes de tiempo claramente distinguibles. El perfil de retardo se extiende típicamente desde 1 hasta 2 us en áreas urbanas y suburbanas, aunque en algunos otros casos, retardos de hasta 20 us o más, con energía de señal significativa han sido observados en áreas montañosas. La duración de chip a 3.84 Mcps es de 0.26us. Si la diferencia de tiempo de las componentes de multi-trayectoria es al menos de 0.26us, el receptor WCDMA puede separar aquellas componentes multi-trayectorias y

combinarlas de manera coherente para conseguir así, una diversidad de multi-trayectoria. El retardo de $0.26\mu\text{s}$ se puede obtener si la diferencia en las longitudes de trayectoria es al menos de 78 mts (velocidad de la luz/tasa de chip). Por otro lado, con una tasa de chip de 1 Mcps, la diferencia en las longitudes de trayectoria de las componentes multi-trayectoria debe estar alrededor de los 300 mts, lo cual no puede conseguirse en celdas pequeñas. Por lo tanto, es fácil observar que la tecnología WCDMA de 5MHz puede proporcionar diversidad de multi-trayectoria en celdas pequeñas, lo que no es posible con el estándar IS-95.

- También, para alguna posición de retardo de tiempo, usualmente existen muchas trayectorias casi iguales en longitud junto con la cual la señal de radio viaja. Por ejemplo, las trayectorias con una diferencia de longitud de media longitud de onda (a 2 GHz ésta es aproximadamente 7cm) llegan virtualmente en el mismo instante al compararlo con la duración de un solo chip, el cual es de 78 mts a 3.84Mcps. Como resultado, la cancelación de la señal, llamado desvanecimiento rápido, ocurre a medida que el receptor se desplaza aun en distancias cortas. La cancelación de la señal es comprendida de mejor forma como una sumatoria de distintos valores ponderados que describen el cambio de fase y la atenuación a lo largo de una cierta trayectoria en cierto instante de tiempo.

2.3.3 El receptor tipo Rake

Existen muchos tipos de arquitecturas de receptores utilizadas por la interfase de aire del tipo CDMA. La arquitectura del receptor utilizada de manera más común por las terminales móviles CDMA es el receptor tipo Rake: conformado de un conjunto de dedos *-fingers-* y un bloque combinador como se muestra en la figura 2.10. Cada *dedo* Rake, por si solo es un receptor individual para la señal que proviene de una celda específica en una trayectoria de propagación específica. Los canales de propagación de multi-trayectoria y las situaciones de traspaso de llamada programada *soft handover* son manejados utilizando múltiples dedos, uno para cada trayectoria de propagación en cuestión. Los símbolos de salida de todos los *dedos* son entonces combinados de manera coherente y sincrónica por el bloque combinador del receptor Rake para generar los símbolos de datos recibidos [2].

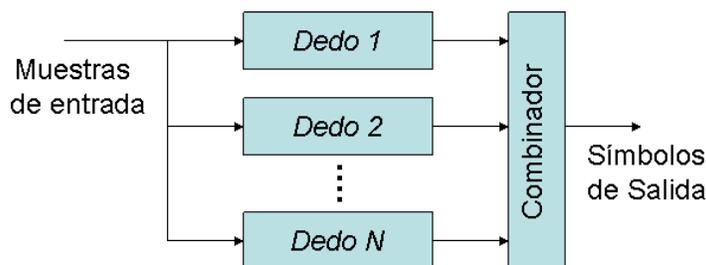


Figura 2.10 Bloques principales que conforman el receptor RAKE

El receptor tipo Rake se conforma de un receptor capaz de seguir la estructura del canal de multi-trayectoria y de aumentar el orden de la diversidad en el receptor. Gracias a los códigos de mezclado, la señal CDMA tiene un carácter pseudoaleatorio con una autocorrelación cuya amplitud está en el orden de $1/W$, donde W es el ancho de banda de la señal ensanchada. Utilizando un receptor apropiado, ésta característica de la señal permite el aislamiento de las componentes de la señal de multi-trayectoria que están separadas por más de $1/W$, para una combinación coherente [4]. Esto es, para una señal WCDMA que tiene una tasa de chip de 3.84 MHz, las señales multi-trayectoria separadas por un valor mayor a $0.26\mu\text{s}$ son útiles para la demodulación. Sin embargo, las señales cuyo valor de separación sean menores a $0.26\mu\text{s}$ presentarán un comportamiento de desvanecimiento [1].

2.3.4 Los canales de WCDMA

Para que los distintos tipos de tráfico puedan ser transportados y administrados a través de la interfase de aire, las especificaciones de 3GPP, definen tres diferentes niveles de canales; teniendo cada uno, un papel específico al establecer y mantener las sesiones en la red de acceso como se observa en la figura 2.11.

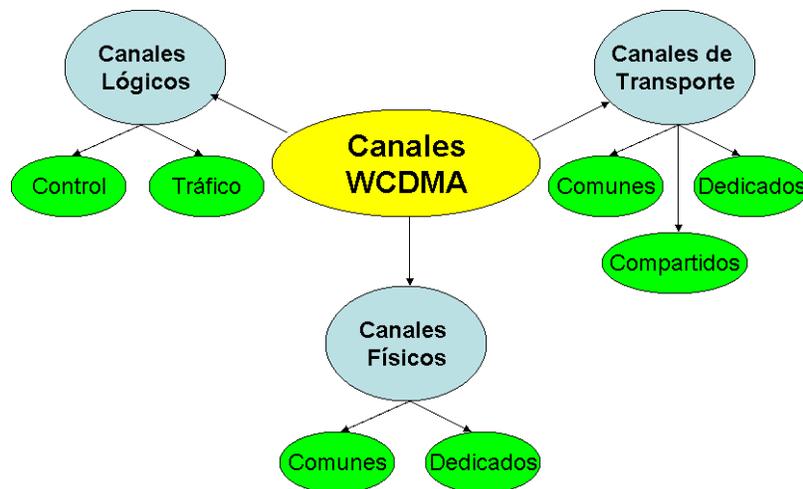


Figura 2.11 Canales WCDMA

2.3.4.1 Los Canales Lógicos

Los canales lógicos quedan definidos en función del tipo de información que transportan, distinguiéndose dos tipos [4]:

1. Aquellos de control, utilizados para transferir información en el plano de control y
2. Aquellos de tráfico, utilizados para transferir información en el plano de usuario.

La configuración, liberación y reconfiguración de los Servicios Portadores de Radio se realiza a través de los protocolos de interfase de radio. Los canales lógicos se ubican dentro de la capa 2 de protocolos. Esta capa 2 se conforma a su vez de dos sub-capas:

1. La de protocolo de Control de Acceso al Medio, MAC (Medium Access Control) y
2. La de protocolo de Control de Enlace de Radio, RLC (Radio Link Control) en el plano de control.

Los distintos Canales de Control Lógicos son:

- El Canal de Control de Difusión , BCCH (Broadcast Channel)
- El Canal de Control de Búsqueda, PCCH (Paging Channel)
- El Canal de Control Común, CCCH (Common Control Channel)
- El Canal de Control Dedicado, DCCH (Dedicated Control Channel)
- El Canal de Control Compartido, SCCH (Shared Control Channel)
- El Canal de Control punto a multipunto de Multimedia Broadcast/Multicast Service, MCCH (Multimedia Broadcast/Multicast Service point to multipoint Control Channel)
- El Canal de Calendarizado punto a multipunto de MBMS, MSCH (Multimedia Broadcast/Multicast Service point to multipoint Scheduling Channel)

Los Canales de Tráfico Lógicos son:

- El Canal de Tráfico Dedicado, DTCH (Dedicated Traffic Channel)
- El Canal de Tráfico Común, CTCH (Common Traffic Channel)
- El Canal de Tráfico punto a multipunto de MBMS, MTCH (Multimedia Broadcast/Multicast Service point to multipoint Traffic Channel)

2.3.4.2 Los canales de Transporte

Los canales de transporte son servicios ofrecidos por la capa 1 a las capas superiores. El canal de transporte es unidireccional y cuenta con las características necesarias para transportar los datos a través de la interfase de aire. Por ejemplo, el tamaño del bloque de transporte para transportar una unidad de datos de la capa MAC, es una de las características de este canal. El periodo de tiempo requerido para transmitir un bloque de transporte, es conocido como el Intervalo de Tiempo de Transmisión, TTI (Transmit Time Interval). En el Release 99, el TTI puede tomar los valores de 10, 20, 40 u 80 ms. Para los servicios de voz, el TTI es fijo a 10 ms, mientras que para servicios de datos éste cambia de acuerdo al servicio utilizado [4].

Los Canales de Transporte son clasificados en tres grupos:

1. Los Canales Dedicados,
2. Los Canales Comunes y
3. Los Canales Compartidos.

2.3.4.2.1 Los Canales de Transporte Dedicados

El único canal de transporte dedicado es el Canal Dedicado, para lo que el acrónimo DCH es utilizado en la serie 25 de la especificación de UTRA. El Canal de Transporte Dedicado es un canal punto a punto utilizado tanto en el Enlace de Subida como en el de Bajada y lleva toda la información que va dirigida hacia un usuario determinado, proveniente de capas que están por encima de la capa física, que incluyen, los datos para el servicio actual, así como la información de control de capas superiores. El contenido de la información transportada en el DCH no es visible a la capa física, por lo que la información de control de capas superiores y los datos de usuario son tratados de la misma forma. Naturalmente los parámetros de capa física establecidos por la UTRAN pueden variar entre los de control y los de datos [1].

Los canales de GSM tradicionales, como el Canal de Tráfico TRCH (Traffic Channel) o el Canal de Control Asociado, ACCH (Associated Control Channel) no existen en la capa física de UTRA. El Canal de Transporte Dedicado transporta tanto la información de servicio, por ejemplo, las tramas de voz; como la información de control de las capas superiores, tales como, los comandos de *traspaso de llamada* o reportes de medición provenientes de la terminal. En WCDMA un Canal de Transporte independiente no es necesario debido al soporte de tasas de bit variable y la multiplexación del servicio.

El Canal de Transporte Dedicado se caracteriza por funcionalidades como el control de potencia rápida, el cambio de velocidad de datos rápida en una base de trama por trama, y la posibilidad de transmisión a una cierta parte de la celda o sector, mediante la variación de los pesos de la antena con sistemas de antena adaptativos. El canal dedicado soporta el traspaso de llamada programado *soft handover*.

2.3.4.2.2 Canales de Transporte Comunes

El canal común es un canal unidireccional punto a multipunto utilizado ya sea en el Enlace de Subida o en el de Bajada para transferir información entre la UTRAN y uno o más usuarios. Los canales comunes no cuentan con traspaso de llamada programada *soft handover* pero algunos de ellos tienen control de potencia rápida. Los principales canales comunes especificados se mencionan a continuación [4] y [1].

2.3.4.2.2.1 El Canal de Difusión, BCH

El Canal de Difusión, BCH es un canal de transporte de Enlace de Bajada que es utilizado para transmitir información específica de la red UTRA o de una celda determinada. Los datos típicos más requeridos en toda red, son los códigos de acceso aleatorio y las ranuras de acceso en la celda, o los tipos de métodos de diversidad de transmisión utilizados con otros canales para esa celda. Dado que la terminal, no puede registrarse a la celda sin antes haber decodificado el Canal de Difusión, este canal es necesario que transmita relativamente con alta potencia, con la finalidad de alcanzar a todos los usuarios dentro del área de cobertura deseada.

2.3.4.2.2.2 Canal de Acceso hacia Adelante, FACH

El Canal de Acceso hacia Adelante, FACH es un canal de transporte de Enlace de Bajada que transporta información de control a terminales conocidas para ubicarlas en una celda dada. También es posible transmitir paquetes de datos en el canal FACH pudiendo existir más de un canal FACH en una celda. Uno de los Canales de Acceso hacia Adelante debe tener una velocidad de bit baja, tal que pueda ser recibido por todas las terminales en el área de la celda. Cuando hay más de un canal FACH, los canales adicionales pueden tener también una velocidad de datos superior. El canal FACH no soporta control de potencia rápida y los mensajes transmitidos necesitan incluir información de identificación dentro de banda para asegurar la recepción correcta.

2.3.4.2.2.3 Canal de Búsqueda, PCH

El Canal de Búsqueda, PCH es un canal de transporte de Enlace de Bajada que transporta datos relevantes al procedimiento de localización, esto es, cuando la red quiere iniciar comunicación con la terminal. Este canal, normalmente es transmitido en varias celdas para localizar el usuario. El diseño del Canal de Búsqueda también afecta el consumo de potencia de la terminal en el modo de standby. Cuanto menos frecuente la terminal tenga que sintonizar el receptor de entrada para escuchar un posible mensaje de búsqueda, mucho mayor será la duración de la batería en el modo standby.

2.3.4.2.2.4 Canal de Acceso Aleatorio, RACH

El Canal de Acceso Aleatorio, RACH es un canal de transporte de Enlace de Subida que tiene como finalidad ser utilizado para transportar información de control desde la terminal móvil, tales como, las solicitudes para establecer una conexión. Éste también puede ser usado para enviar pequeñas cantidades de paquetes de datos desde la terminal móvil a la red.

2.3.4.2.2.5 Canal de Paquete Común de Enlace de Subida, CPCH

El Canal de Paquete Común de Enlace de Subida, CPCH (Common Packet Channel) es una extensión del Canal de Acceso Aleatorio que tiene como finalidad el transportar datos de usuario basados en paquetes en la dirección del Enlace de Subida. La contraparte

que provee los datos en la dirección de Enlace de Bajada es el Canal de Acceso hacia Adelante. A nivel de capa física, las diferencias principales con el Canal de Acceso Aleatorio son el uso del control de potencia rápida, un mecanismo de detección de colisiones basado en capa física y un procedimiento de monitoreo del estado del canal CPCH. La transmisión del canal CPCH de Enlace de Subida puede durar varias tramas en contaste con una o dos tramas para el mensaje RACH.

2.3.4.2.3 Canales de Transporte Compartidos

El Canal Compartido de Enlace de Bajada, DSCH (Downlink Shared Channel) es un canal de transporte cuya finalidad es transportar datos de usuario dedicados e/o información de control, pudiendo ser compartido por varios usuarios. En muchos aspectos este canal es muy similar al Canal de Acceso hacia Adelante, solo que el Canal Compartido soporta el uso de control de potencia rápida, así como también una velocidad de bit variable en una base de trama a trama. El Canal Compartido de Enlace de Bajada siempre está asociado con uno o varios Canales Dedicados de Enlace de Bajada DCH cuando es compartido por múltiples usuarios.

2.3.4.2.4 Canales de Transporte y su mapeo en los Canales Físicos

En UTRA los datos generados en capas superiores son transportados sobre del aire a través de los Canales de Transporte, los cuales, a su vez son mapeados en la capa física en los diferentes Canales Físicos. Es requisito de la capa física el poder soportar Canales de Transporte de tasa de bit variable, con el fin de ofrecer servicios de ancho de banda bajo demanda y el ser capaz de multiplexar diferentes servicios hacia una conexión [1].

Cada Canal de Transporte está acompañado por el Indicador de Formato de Transporte, TFI (Transport Format Indicator) en cada instante de tiempo en el que los datos se esperan lleguen para el Canal de Transporte específico y que provienen de las capas superiores. La capa física combina la información del TFI de diferentes canales de transporte en el Indicador de Combinación de Formato de Transporte, TFCI (Transport Format Combination Indicator). El TFCI es transmitido en el canal de control físico para informar al receptor que canales de transporte están activos para la trama presente. El TFCI es decodificado apropiadamente en el receptor y el TFI resultante es proporcionado a las capas superiores para cada uno de los canales de transporte que puedan estar activos para la conexión como se muestra en la figura 2.12

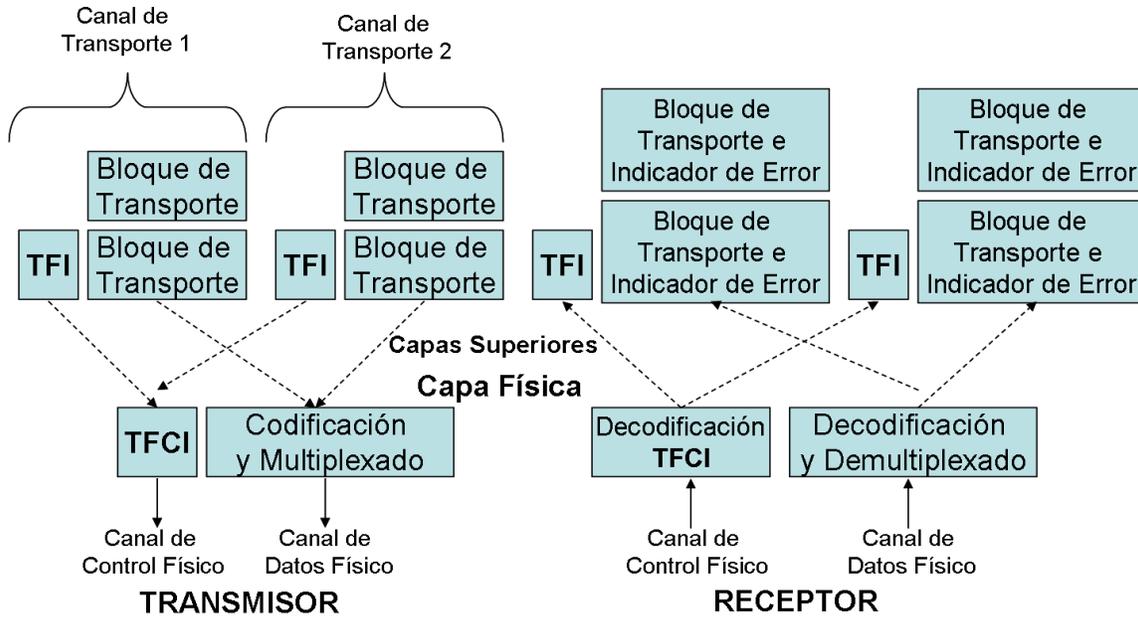


Figura 2.12 Indicador de Formato de Transporte

Un canal de control físico y uno o más canales de datos físicos forman un Canal de Transporte Compuesto Codificado, CCTrCH (Coded Composite Transport Channel). Más de un CCTrCH puede haber en una conexión dada, pero solo un canal de control de capa física es transmitido en ese caso.

Además de los canales de transporte, existen canales físicos para transportar solamente información relevante a los procedimientos de capa física. El Canal de Sincronización, SCH (Synchronisation Channel), el Canal Piloto Común, CPICH y el Canal de Indicación de Adquisición, AICH no son directamente visibles para las capas superiores y es obligatorio desde el punto de vista de funcionamiento del sistema que sean transmitidos desde cada estación base. El Canal de Indicación de Estado del Canal de Paquete Común, CSICH y el Canal de Indicación de Asignación de Canal / de Detección de Colisión, CD / CA-ICH son necesarios si el Canal de Paquete Común es utilizado.

El Canal Dedicado, es mapeado en dos canales físicos. El Canal de Datos Físico Dedicado, transporta información de capa superior, que incluye datos de usuario, mientras que el Canal de Control Físico Dedicado, transporta la información de control de capa física necesaria. Estos dos canales físicos dedicados son necesarios para soportar eficientemente la velocidad de bit variable en la capa física. La velocidad de bit del DPCCCH es constante, mientras que la velocidad de bit de DPDCH puede cambiar de trama a trama.

2.3.4.3 Los Canales Físicos

Por cuestiones de señalización, mucha información requiere ser transmitida entre la red y las terminales móviles. Para tal propósito, se emplean distintos canales físicos como se describe a continuación [1] y [2].

2.3.4.3.1 El Canal Piloto Común, CPICH

El Canal Piloto Común es un canal físico de Enlace de Bajada fijo, sin modulación, que transmite una secuencia de símbolos piloto a 30 kbps –que es la velocidad de datos primaria de un Canal Físico, PhCh (Physical Channel) con un Factor de Ensanchamiento igual a 256, el cual es combinado con el Código de Mezclado primario de una celda específica. La función del CPICH es ayudar en la estimación del canal en la terminal móvil para el Canal Dedicado y proveer la referencia de estimación de canal para los canales comunes, cuando estos no se encuentran asociados con los canales dedicados o no están involucrados en las técnicas de antena adaptativa.

UTRA cuenta con dos tipos de Canales Piloto, el primario y el secundario. La diferencia entre ellos es que el CPICH Primario P-CPICH está siempre dentro del Código de Mezclado primario con una asignación de código de canalización fija y hay solamente un canal por cada celda o sector que se transmite de manera omni-direccional. EL CPICH Secundario puede tener cualquier código de canalización de longitud 256 y puede estar dentro de un código de mezclado secundario también.

La utilización típica del Canal Piloto Común primario son las mediciones para el traspaso de llamada y la selección/re-selección de celdas. Una reducción en la potencia del CPICH, provoca que parte de las terminales realicen traspaso de llamada a otras celdas, mientras que un aumento invita a más terminales a que realicen traspaso de llamada a esta celda, así como, a realizar su acceso inicial a la red en esa celda.

El canal CPICH no transporta ninguna información de capas superiores, ni tampoco hay canales de transporte mapeados en éste. El canal CPICH utiliza el Factor de Ensanchamiento 256. Este puede ser enviado desde dos antenas en el caso de que métodos de diversidad de transmisión sean utilizados en la estación base. En este caso, las transmisiones desde las dos antenas están separadas por un patrón de modulación sencillo en el CPICH transmitido desde la antena de diversidad, llamado diversidad de CPICH. El piloto de diversidad es utilizado tanto con esquemas de diversidad de transmisión de lazo cerrado como abierto.

2.3.4.3.2 Canal de Sincronización, SCH

El Canal de Sincronización, es necesario para la búsqueda de la celda. Se conforma de dos canales, los Canales de Sincronización primario y secundario mismos que se describen a continuación.

- El Canal de Sincronización primario utiliza una secuencia de ensanchamiento de 256 chip idéntica en cada celda cuya ráfaga es transmitida por cada celda WCDMA al inicio de cada ranura de tiempo.
- El Canal de Sincronización secundario utiliza secuencias con diferentes posibilidades de combinación de palabra de código que representan diferentes grupos de código. Una vez que la terminal móvil ha identificado el Canal de Sincronización secundario, éste ha obtenido sincronización de ranura e inicio de

trama, así como información del grupo de la celda a la que pertenece. Hay 64 diferentes grupos de código en uso, indicado por las secuencias de 256 chip enviados en los Canales de Sincronización secundario.

Al igual que con el Canal Piloto Común, ningún canal de transporte es mapeado en el Canal de Sincronización, dado que las palabras de código son enviadas solamente con propósitos de búsqueda de celda. El Canal de Sincronización es multiplexado en tiempo con el Canal Físico de Control Común Primario. Para el Canal de Sincronización siempre hay 256 chips disponibles de los 2560 chips de cada ranura de tiempo. Los Canales de Sincronización primario y secundario son enviados en paralelo. Ver figura 2.13

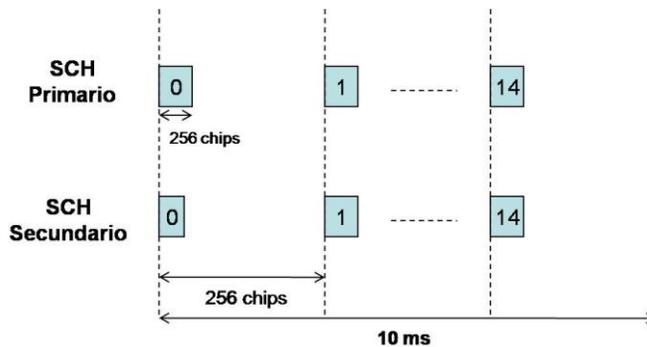


Figura 2.13 Canales de Sincronización Primario y Secundario

2.3.4.3.3 El Canal Físico de Control Común Primario, P-CCPCH

El Canal Físico de Control Común Primario, es el canal físico que transporta el Canal de Difusión. Éste requiere ser demodulado por todas las terminales en el sistema dado que se transportan los parámetros de codificación de canal y código de ensanchamiento.

El canal CCPCH Primario no contiene información de control de capa 1 dado que es de velocidad fija y no transporta información de control de potencia para ninguna de las terminales móviles.

La tasa de bit del canal es de 30kbps con una relación de ensanchamiento del código de canalización asignado permanentemente de 256. La tasa de bit total es reducida canal posteriormente en la medida que el CCPCH Primario se alterna con el Canal de Sincronización, reduciendo la tasa de bit sin codificación disponible para información del sistema a 27 kpbs. Ver figura 2.14

La codificación de canal del CCPCH Primario utiliza codificación convolucional de $\frac{1}{2}$ velocidad con intercalado de 20 ms en dos tramas consecutivas. Éste es transmitido con una potencia muy alta desde la estación base para alcanzar a todas las terminales móviles por lo que es importante que la velocidad de datos sea baja. Si la decodificación del canal CCPCH falla, las terminales móviles no pueden acceder el sistema si no son capaces de obtener los parámetros críticos del sistema tales como los códigos de acceso aleatorio y canales de código utilizados por otros canales comunes.

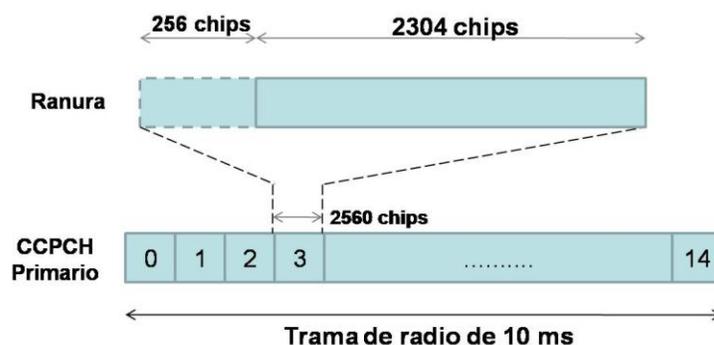


Figura 2.14 Estructura de trama del CCPCH Primario

2.3.4.3.4 Canal Físico de Control Común Secundario, S-CCPCH

El Canal Físico de Control Común Secundario, transporta dos canales comunes diferentes: el Canal de Acceso hacia Adelante y el Canal de Búsqueda. Los dos canales pueden compartir un solo Canal Físico de Control Común Secundario o pueden utilizar diferentes canales físicos lo que significa que en su configuración mínima cada celda tiene al menos un Canal Físico de Control Común Secundario.

El Factor de Ensanchamiento utilizado en el Canal Físico de Control Común Secundario es fijo y determinado de acuerdo a la velocidad de datos máxima. La velocidad de datos puede variar con la transmisión discontinua DTX o los parámetros de igualación de velocidad, pero el código de canalización siempre está reservado de acuerdo a la velocidad de datos máxima. La velocidad de datos máxima utilizable naturalmente depende de las capacidades de la terminal móvil. Al igual que con el Canal Físico de Control Común Primario, el método de codificación del canal es codificación convolucional de $\frac{1}{2}$ velocidad cuando se transportan los canales utilizados para acceder a la celda, ya sea el Canal de Acceso hacia Adelante o el Canal de Búsqueda. Cuando es utilizado para transportar el Canal de Búsqueda, el periodo de intercalado siempre es 10 ms. Para la transmisión de datos con el Canal de Acceso hacia Adelante, la codificación turbo o codificación convolucional de $\frac{1}{3}$ de velocidad puede ser aplicada.

El Canal Físico de Control Común Secundario no contiene información de control de potencia, y para otra información de control de capa 1 pueden ser utilizadas las siguientes combinaciones:

- Ni símbolos piloto, ni información de velocidad. Utilizada con el Canal de Búsqueda y el Canal de Acceso hacia Adelante cuando no se utilizan antenas adaptativas y un canal requiere ser detectado por todas las terminales móviles.
- Sin símbolos piloto, solo información de velocidad con el Indicador de Combinación de Formato de Transporte. Utilizada generalmente con el Canal de Acceso hacia Adelante. Cuando se quiere utilizar el canal FACH para la transmisión de datos con formato de transporte y velocidad de datos variable. En

dicho caso las velocidades de transmisión son implementadas con DTX o con repetición.

- Símbolos piloto con o sin información de velocidad del Indicador de Combinación de Formato de Transporte. Típico para el caso cuando un canal de Enlace de Subida es utilizado para derivar información para propósitos de procesamiento de antena adaptativa y son utilizados patrones o haces de radiación de antena específicos.

El Canal de Acceso hacia Adelante y el Canal de Búsqueda pueden ser multiplexados en un solo Canal Físico de Control Común Secundario, dado que los indicadores de búsqueda utilizados junto con el Canal de Búsqueda están multiplexados en un canal físico diferente llamado el Canal Indicador de Búsqueda. El motivo para realizar la multiplexación de los canales juntos es el presupuesto de potencia de la estación base.

2.3.4.3.5 Canal de Acceso Aleatorio para la transmisión de señalización.

El Canal de Acceso Aleatorio es generalmente utilizado con propósitos de señalización, para registrar la terminal móvil después de que ha sido encendida dentro del área de cobertura de la red o para realizar la actualización de ubicación después de trasladarse de un área de ubicación a otra o para iniciar una llamada. La estructura del Canal de Acceso Aleatorio físico para propósitos de señalización es el mismo que cuando se utiliza el Canal de Acceso Aleatorio para la transmisión de datos de usuario. Cuando es utilizado para señalización, la mayor diferencia es que la velocidad de datos debe mantenerse relativamente baja, de otra forma, la cobertura alcanzable con la señalización del Canal de Acceso Aleatorio comienza a limitar la cobertura del sistema.

El Canal de Acceso Aleatorio que también puede ser utilizado para el acceso inicial, emplea una carga útil de tamaño reducida, dado que tiene que ser utilizado por todas las terminales móviles. En este caso, la capacidad de soportar una velocidad de datos de 16 kbps, es un requerimiento obligatorio para todas las terminales móviles sin importar el tipo de servicio que ofrezcan.

2.3.4.3.6 Canal Indicador de Adquisición AICH

Relacionado con el Canal de Acceso Aleatorio, el Canal Indicador de Adquisición, es utilizado para indicar desde la estación base la recepción de la secuencia de marca del Canal de Acceso Aleatorio.

Para la detección del Canal Indicador de Adquisición, la terminal móvil necesita obtener la referencia de fase del Canal Piloto Común. El Canal Indicador de Adquisición también necesita ser escuchado por todas las terminales y necesita ser enviado generalmente con un nivel de potencia alto sin control de potencia. El Canal Indicador de Adquisición no es visible hacia las capas superiores, sino que es controlado directamente por la capa física en la estación base.

2.3.4.3.7 Canal Indicador de Búsqueda PICH

El Canal de Búsqueda, es operado junto con el Canal Indicador de Búsqueda PICH, para brindar a las terminales móviles una operación en el modo de *sleep* eficiente. Los Indicadores de Búsqueda utilizan un código de canalización de longitud 256.

2.4 Búsqueda de la celda

La búsqueda de la celda es el proceso mediante el cual la terminal móvil, encuentra el tiempo, el ID de celda -código de mezclado primario- y el estado de la Diversidad de Transmisión Tiempo Espacio STTD (Space Time Transmit Diversity) del Canal de Difusión de las celdas en la periferia. La búsqueda de celdas están calendarizadas por las capas superiores ya sea explícitamente, por ejemplo, después de encender la terminal móvil para detectar celdas en las cuales acampar o implícitamente, añadiendo celdas desconocidas al conjunto monitoreado.

El procedimiento de búsqueda de la celda, se basa principalmente en la señalización de tres canales de capa física disponibles en cada celda que son: los Canales de Sincronización Primario y Secundario (P-SCH y S-SCH) y el CPICH Primario (P-CPICH) [2].

2.4.1 Detección del Canal de Sincronización Primario, Sincronización de Ranura

El Canal de Sincronización Primario es una ráfaga que es transmitida por cada celda WCDMA durante los primeros 256 chips de cada ranura de tiempo. Ésta es utilizada como una secuencia de sondeo para detectar la presencia de celdas y para dar información relacionada con el tiempo de ranura de cada celda. El $C_p(n)$ de la ráfaga del P-SCH está definido como una secuencia jerárquica de acuerdo con:

$$a(j) = [1,1,1,1,1,-1,-1,1,-1,1,-1,1,-1,-1,1,-1] \quad (2.2)$$

$$b(k) = [1,1,1,-1,-1,1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,1,1] \quad (2.3)$$

$$C_p(n) = b(\lfloor n/16 \rfloor) a(n \bmod 16) \quad (2.4)$$

Dado que el tiempo de las celdas es completamente desconocido en esta etapa, el terminal móvil debe recibir el Canal de Sincronización Primario utilizando un filtro igualador en vez de un correlacionador alineador de tiempo.

2.4.2 Detección del Canal de Sincronización Secundario S-SCH, Sincronización de Trama

El Canal de Sincronización Secundario sirve como un medio para detectar el tiempo de inicio de trama de las celdas detectadas por el correlacionador del Canal de Sincronización Primario y como ayuda para la detección del ID de la celda. Cada celda transmite este canal junto con el P-SCH y al igual que el P-SCH, el Canal de

Sincronización Secundario se conforma de quince ráfagas con una longitud de 256 chips. A diferencia del P-SCH, diferentes ráfagas de S-SCH son transmitidas en cada ranura, y la secuencia de estas ráfagas depende del grupo de Código de Mezclado al cual pertenece la celda. Cada celda repite su secuencia de ráfagas de Canal de Sincronización Secundario en cada trama.

2.4.3 Detección del ID de la Celda

Una vez que el tiempo de la trama de la celda y el grupo de Código de Mezclado se conocen a partir del proceso de detección del Canal de Sincronización Secundario, el Código de Mezclado primario de la celda puede ser determinado recibiendo tentativamente el Canal Piloto Común Primario en los ocho códigos primarios en el grupo de código. El código primario el cual da la correlación más fuerte en el código OVSF $C_{sp,256,0}$ es detectado como el ID de celda. Después de que el Código de Mezclado primario ha sido identificado, el CCPCH Primario puede ser detectado. De esta forma, el sistema y la información del Canal de Difusión de la celda específica puede ser leído.

2.4.4 Identificación de Estado de Diversidad de Transmisión del P-CCPCH

El último paso en la búsqueda de la celda es detectar si el Canal Físico de Control Común Primario de la celda, tiene codificación de diversidad de transmisión de lazo abierto (diversidad de transmisión de tiempo espacio, STTD), esta información es requerida para recibir el Canal de Difusión. La información relacionada con el estado de la Diversidad de Transmisión Tiempo Espacio del P-CCPCH está codificada en la fase relativa entre el Canal Piloto Común Primario y los Canales de Sincronización. El detectar la fase relativa entre el Canal de Sincronización SCH y el Canal Piloto Común Primario P-CPICH requiere que ambos sean recibidos en paralelo, siendo necesarios un correlacionador de Canal de Sincronización Primario P-SCH y uno de Canal Piloto Común CPICH.

2.5 Presupuesto de enlace y modelos de propagación

El proceso de planeación de una red de radio WCDMA está conformada por diferentes fases que son el dimensionamiento, la planeación detallada de la cobertura y de la capacidad y la optimización de la red. Dentro de las actividades de dimensionamiento están comprendidas, el análisis de cobertura y el Presupuesto del Enlace de Radio RLB (Radio Link Budget), la estimación de la capacidad y finalmente las estimaciones de sitios y hardware de estación base, las Controladoras de Red de Radio, el equipamiento con diferentes interfaces y los elementos de la Red Central [1].

El presupuesto de enlace es la consideración de todas las ganancias y las pérdidas, desde el transmisor a través del medio –espacio libre, cable, guía de onda, fibra óptica- hasta el receptor en un sistema de telecomunicaciones. El presupuesto de enlace toma en cuenta la atenuación de la señal transmitida debida a la propagación, así como las ganancias de la antena, pérdidas en la línea de transmisión y misceláneas. La ecuación de presupuesto de enlace en su forma más simple puede expresarse como:

$$\text{Potencia Recibida (dBm)} = \text{Potencia Transmitida (dBm)} + \text{Ganancias (dB)} - \text{Pérdidas (dB)} \quad (2.5)$$

En el caso de WCDMA hay algunos parámetros específicos en el presupuesto de enlace que no son utilizados en sistemas de acceso de radio basado en TDMA tales como GSM y que son mencionados a continuación [1]:

- El margen de interferencia. Es requerido en el presupuesto del enlace de radio debido a que la carga de la celda, también conocida como factor de carga, afecta la cobertura. Cuanto mayor sea la carga permitida en el sistema, mayor será el margen de interferencia requerido en el enlace de subida y menor el área de cobertura. Para los casos de cobertura-limitada un margen de interferencia menor es sugerido, mientras que, para los casos de capacidad-limitada un margen de interferencia mayor deberá ser utilizado. En los casos de cobertura-limitada, el tamaño de la celda se encuentra limitado por la pérdida de trayectoria permitida máxima en el presupuesto de pérdida, y la capacidad de la interfase de aire máxima del sitio de estación base no es utilizada. Los valores típicos para el margen de interferencia en los casos de cobertura limitada están entre 1.0-3.0 dB que corresponden de un 20 a un 50% de la carga.
- El margen de desvanecimiento rápido. Cierta potencia de transmisión en la terminal móvil es requerido para mantener un adecuado control de potencia rápido de lazo cerrado. Esto aplica especialmente para peatones móviles desplazándose lentamente, en el que el control de potencia rápido tiene la capacidad de compensar de manera efectiva el desvanecimiento rápido. Los valores típicos para el margen de desvanecimiento rápido están entre 2.0-5.0 para móviles con desplazamiento lento.
- La ganancia de traspaso de llamada programado “Soft Handover”. Los trasposos de llamada “Handovers –Soft o Hard”- brindan una ganancia contra el desvanecimiento lento reduciendo el margen de desvanecimiento log-normal requerido. Esto es debido a que el desvanecimiento lento está parcialmente no correlacionado entre las estaciones base, y al realizar el traspaso de llamada “handover” la terminal móvil puede seleccionar una estación base mejor. El traspaso de llamada programado “Soft Handover” proporciona adicionalmente ganancia de macro diversidad contra el desvanecimiento rápido reduciendo el valor de la relación E_b/N_o relativo a un enlace de radio simple, debido al efecto de la combinación de la macro diversidad.

A continuación se muestra un ejemplo de cálculo de presupuesto de enlace para un servicio UMTS típico de voz de 12.2kbps en un ambiente macro celular urbano, desplazándose la terminal móvil a una velocidad de 120Km/h dentro de un automóvil. Las consideraciones utilizadas en el presupuesto del enlace tanto para el receptor como para el transmisor se muestran en las tablas 2.1 y 2.2

Tabla 2.1 Consideraciones para la estación móvil

	Terminal de Voz	Terminal de Datos
Potencia de Transmisión Máxima	21 dBm	24dBm
Ganancia de la antena	0 dBi	2dBi
Pérdida del cuerpo	3 dB	0dB

Tabla 2.2 Consideraciones para la estación base

Figura de Ruido	5 dB
Ganancia de la antena	18 dBi (estación base de tres sectores)
Requerimiento E_b/N_o	Voz: 5dB 144kbps Datos tiempo real: 1.5dB 384kbps Datos no en tiempo real: 1dB
Pérdida del cable	2 dB

El cálculo del presupuesto de enlace mostrado en la Tabla 2.3 es para un servicio de voz de 12.2 kbps para usuarios dentro de un auto, el cual incluye 8 dB de pérdida dentro del mismo. El valor requerido de E_b/N_o se asume que sea de 5.0 dB y es un valor que depende de la tasa de bit, el servicio, el perfil de multi-trayectoria, la velocidad del móvil, los algoritmos del receptor y la estructura de la estación base. En cuanto al margen de desvanecimiento rápido, no hay una consideración alguna, dado que a una velocidad de 120 Km/h, el control de potencia rápido no es capaz de compensar el desvanecimiento.

Tabla 2.3 Presupuesto de enlace para un servicio de voz de 12.2kbps

Servicio de voz 12.2 kbps (120 Km/h, dentro de auto)		
Transmisor (Estación Móvil)		
Potencia de transmisión del móvil máxima (W)	0.125	
Potencia de transmisión del móvil máxima (dBm)	21	A
Ganancia de la antena (dBi)	0	B
Pérdida del cuerpo (dB)	3	C
Potencia Radiada Isotrópica Equivalente (dBm)	18	D = A+B-C
Receptor (Estación base)		
Densidad de ruido térmico (dBm/Hz)	-174	E
Figura de ruido del receptor de la Estación base (dB)	5	F
Densidad de ruido del receptor (dBm/Hz)	-169	G = E+F
Potencia del ruido recibido (dBm)	-103.15	H = G + 10log(3.84E6)
Margen de interferencia (dB)	3	I
Potencia de la interferencia recibida (dBm)	-103.2	J = 10log(10 ^{-(H+I/10)} - 10 ^(H/10))
Ruido + Interferencia total efectiva (dBm)	-100	K = 10log(10 ^{-(H/10)} - 10 ^(J/10))
Ganancia de procesamiento (dB)	25	L = 10log(3840/12.2)
E_b/N_o requerido (dB)	5	M
Sensibilidad del Receptor	-120.2	N = M-L+K
Ganancia de la antena de la Estación base (dBi)	18	O
Pérdida del cable en la estación base (dB)	2	P
Margen de desvanecimiento rápido (dB)	0	Q
Pérdida de Trayectoria Max (dB)	154.2	R = D-N+O-P-Q
Probabilidad de cobertura (%)	95	
Constante de desvanecimiento log normal	7	
Exponente de modelo de propagación	3.52	
Margen de desvanecimiento log normal	7.3	S
Ganancia de <i>soft handover</i> (dB), multi celdas	3	T
Pérdida dentro de auto	8	U
Pérdida de propagación permitida para el rango de la celda (dB)	141.9	V = R-S+T-U

La eficiencia de cobertura de WCDMA está definida por el área de cobertura promedio por sitio, en $\text{km}^2/\text{número de sitios}$, para unas condiciones de propagación de referencia y densidad de tráfico soportado predefinidos. A partir del presupuesto de enlace anterior, el rango de cobertura de la celda –R-, puede ser fácilmente calculado a partir de un modelo de propagación conocido. El modelo de propagación describe la propagación de la señal promedio en ese ambiente, y convierte la pérdida de propagación máxima permitida -en dB- en el rango de la celda máxima –en Km-.

2.5.1 Modelo de Propagación Okumura-Hata

Típicamente los modelos de propagación de radio se enfocan en entender la pérdida de trayectoria a través de la estimación del área de cobertura para un transmisor o el modelado de la distribución de las señales sobre diferentes regiones.

Dado que cada enlace de telecomunicaciones se encuentra con diferentes terrenos, trayectorias, obstrucciones, condiciones atmosféricas y otros fenómenos, es imposible formular la pérdida exacta para todos los sistemas en una sola ecuación matemática. Como resultado, existen diferentes modelos para diferentes tipos de enlaces de radio bajo distintas condiciones.

El modelo de propagación Okumura-Hata fue y continúa siendo ampliamente utilizado para realizar los cálculos de cobertura en la planeación de redes macro-celulares. En base a la mediciones realizadas por Y. Okumura en Tokyo en frecuencias de hasta 1920 MHz, fueron ajustadas a un modelo matemático desarrollado por M. Hata. En el modelo original, la pérdida de trayectoria era procesada calculando el factor de corrección de atenuación empírico, para áreas urbanas como una función de la distancia entre la estación base, la terminal móvil y la frecuencia. Este factor era agregado a la pérdida del espacio libre. El resultado era corregido por los factores para las alturas de las antenas de la terminal móvil y de la estación base. Otros factores de corrección adicionales fueron agregados para la orientación de la calle, las áreas abiertas, las áreas suburbanas y para terrenos irregulares [11].

Las fórmulas de Hata son válidas cuando la frecuencia portadora está entre los 150 y 1,000 MHz, la altura de la estación base se encuentra entre los 30 y 200 metros, la altura de la Estación Móvil está entre 1 y 10 m y la distancia entre éstos es entre 1 y 20 Km. La altura de la antena de la estación base, debe estar por encima del nivel del techo de los edificios adyacentes a la estación base. Entonces el modelo es propuesto para ser utilizado en estudios de propagación de macro-celdas. Debido a las limitaciones de la banda de frecuencia, el modelo original fue ajustado por el COST-231 resultando en el modelo COST-231 de Hata en el rango de 1.5 a 2.0 GHz, que también es aplicable a redes de radio de Tercera Generación.

De los modelos de propagación disponibles, el modelo Okumuta-Hata es el más frecuentemente referido. Por lo tanto, se convirtió en una referencia con el cual otros modelos son comparados. El rango de utilidad con diferentes tipos de terreno y uso de

suelo y para diferentes parámetros de red han hecho del modelo Okumura-Hata muy útil en muchos estudios de propagación.

Tomando como ejemplo el modelo de propagación de Okumura-Hata para una macro-celda urbana con una altura de antena de estación base de 30m, una altura de antena de la terminal móvil de 1.5 metros y una frecuencia portadora de 1,950 MHz es posible obtener el rango R de cobertura de la celda. La pérdida de trayectoria media L_p , en un ambiente urbano está dada por la siguiente fórmula:

$$L_{p,urbana}(dB) = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} R \quad (2.6)$$

En donde f_c es la frecuencia central –en MHz-, R es la separación entre el transmisor –receptor –en Km- h_b es la altura de la estación base –en metros- y $a(h_m)$ es el factor de corrección en la altura de la antena del móvil h_m –en metros-. Para una ciudad de tamaño pequeña a mediana, el factor de corrección de la antena del móvil está dado por:

$$a(h_m) = (1.1 \log f_c - 0.7)h_m - 1.56 \log_{10} f_c - 0.8 \quad (2.7)$$

Mientras que para una ciudad grande el factor de corrección viene dado por:

$$a(h_m) = 3.2(\log(11.75h_m))^2 - 4.97, f_c \geq 400 \text{ Hz} \quad (2.8)$$

De tal forma que la pérdida de trayectoria media L_p queda de la siguiente forma

$$L_p = 137.4 + 35.2 \log(R) \quad (2.9)$$

De acuerdo con la ecuación anterior, el rango de la celda para un servicio de voz con una pérdida de trayectoria de 141.9 dB en la Tabla 2.3 el área debería ser de 1.34Km

2.5.2 Modelos de Pérdida de Trayectoria para UMTS

Diversos modelos de pérdida de trayectoria para sistemas celulares fueron propuestos por la Unión de Telecomunicaciones Internacional ITU, ETSI y 3GPP, existiendo tres modelos basados en sistemas UMTS que corresponden a los siguientes entornos: interiores oficina, exteriores-interiores pedestre, y vehicular. A continuación se da una breve descripción de estos ambientes [4].

2.5.2.1 Modelo de pérdida de trayectoria para interiores oficina

Los ambientes de oficina generalmente son atendidos por pico celdas, con radios de cobertura menores a 100 metros y caracterizados por potencias de transmisión bajas. Las estaciones base y los usuarios pedestres están localizados en los interiores. La variación de pérdida de trayectoria es esencial debido a la dispersión y a la atenuación por paredes, pisos y estructuras metálicas los cuales también producen efectos de sombra. Una desviación estándar de desvanecimiento por sombra log-normal de 12 dB es un valor

esperado. El modelo de pérdida de trayectoria para este tipo de ambiente se basa en el modelo COST 231.

2.5.2.2 Modelo de pérdida de trayectoria para ambientes urbanos y suburbanos

Los ambientes urbanos y suburbanos están caracterizados por celdas más grandes y con potencias de transmisión alta con una desviación estándar de alrededor de 10 dB. El modelo de pérdida de trayectoria utilizado para caracterizar este escenario en áreas urbanas y suburbanas es llamado modelo vehicular aunque no tenga nada que ver con el vehículo, derivándose del modelo de exteriores COST 231 y que ha sido adoptado por la ITU.

2.5.2.3 Modelo de pérdida de trayectoria para ambientes exteriores a interiores y pedestre

Este tipo de ambiente es atendido por micro celdas con radios de cobertura comprendidos entre los 100 y los 1000 metros. Las estaciones base con altura de antena bajas están localizadas en los exteriores, los usuarios pedestres están localizados en las calles, dentro de los edificios y en las casas. Un desvanecimiento por sombra Log-normal con una desviación estándar de 10 dB es considerado razonable para exteriores. La expresión de pérdida de trayectoria está dada por la suma de la pérdida en el espacio libre L_f , la pérdida por difracción del techo a la calle, L_{rts} , y la disminución debida a las filas atravesadas de difracción de pantalla múltiple de edificios L_{msd} . En este modelo L_f y L_{rts} son independientes de la altura de la antena de la estación base, mientras que L_{msd} depende si la antena de la estación base está por debajo o por encima de la altura del edificio. De manera general el modelo de la pérdida de trayectoria promedio está dado por

$$L_p(d) = L_f + L_{rts} + L_{msd} \quad (2.10)$$

Dada una separación entre la estación base y la terminal móvil d , la pérdida del espacio libre entre ellos está dada por

$$L_f = -10 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2.11)$$

La difracción desde el techo hacia el nivel de calle aporta la pérdida en exceso a la terminal móvil

$$L_{rts} = -10 \log \left(\frac{\lambda}{2\pi^2 r} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right)^2 \right) \quad (2.12)$$

La difracción de pantalla múltiple depende de la altura relativa de la antena de la estación base que puede estar por encima o por debajo de las alturas promedio de los edificios y está dada por

$$L_{msd} = -10 \log\left(\frac{d}{R}\right) \quad (2.13)$$

En donde R es la separación promedio entre los edificios.

2.6 Método de Krige

En el mundo real, es imposible obtener suficientes valores de datos en todos los puntos deseados debido a limitaciones prácticas. Por lo tanto, la interpolación es importante y fundamental para graficar, analizar y entender los datos obtenidos en un sistema de 2 dimensiones [12].

Krige es una técnica de interpolación basada en una regresión de muestras utilizadas para pronosticar valores desconocidos a partir de valores conocidos espaciados de manera irregular.

Kriging toma en cuenta la interdependencia de las muestras que están cerca unas de otras al tiempo que permite cierta independencia de los puntos muestreados; de esta forma evita la construcción de superficies basadas en tendencias en la que se introduce una aleatoriedad. Krige se basa en las características estructurales y comportamiento de los datos localizados espacialmente.

Las muestras tomadas que se encuentran más cercanas, se espera que sean más parecidas que aquellas muestras tomadas y que se encuentren más separadas; debido a que los puntos que están más cercanos tienden a estar más fuertemente correlacionadas, mientras que aquellas que están más separadas tienden a no estar correlacionadas.

Las ponderaciones aplicadas a los valores conocidos, se obtienen a partir de un sistema de ecuaciones lineales en el que los coeficientes son los valores de los variogramas o funciones covarianza. Las funciones calculan la correlación entre puntos conocidos o entre puntos conocidos y desconocidos.

El variograma es una herramienta que permite analizar el comportamiento espacial de una propiedad o una variable sobre una zona dada, obteniendo como resultado la influencia de los datos a diferentes distancias. A partir de los datos proporcionados por el variograma teórico se realiza la estimación por krigeaje.

La funcionalidad básica que describe la variabilidad espacial de un fenómeno de interés se conoce como semivariograma. El semivariograma es un indicativo de que tan parecidos son los puntos en el espacio a medida que estos se encuentran más alejados [14]

La representación gráfica de todas estas varianzas en función de la distancia que separa a las muestras es el semivariograma (o variograma), y el cálculo de la varianza entre pares separados por intervalos de distancia se conoce como semivarianza $\gamma(h)$, que se estima como:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum [Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad (2.14)$$

Donde $\gamma(h)$ es la semivarianza para todas las muestras localizadas en el espacio separado por el intervalo de la distancia h . $N(h)$, es el número total de pares de muestras separados por un intervalo de distancia h . $Z(x)$ es el valor de la muestra en una ubicación x . $Z(x+h)$ es el valor de la muestra a la distancia h desde x .

2.6.1. Ajuste de una función al semivariograma

El semivariograma proporciona bastante información del comportamiento espacial de una variable. Sin embargo es necesario ajustar una función para cuantificar el grado y escala de la variación espacial. Existen numerosos modelos que se utilizan en geoestadística, siendo los más comúnmente usados el modelo esférico, el modelo exponencial, el modelo gaussiano y el modelo lineal, los cuales se muestran en la figura 2.15 y en donde se han ajustado a los datos de un semivariograma dado.

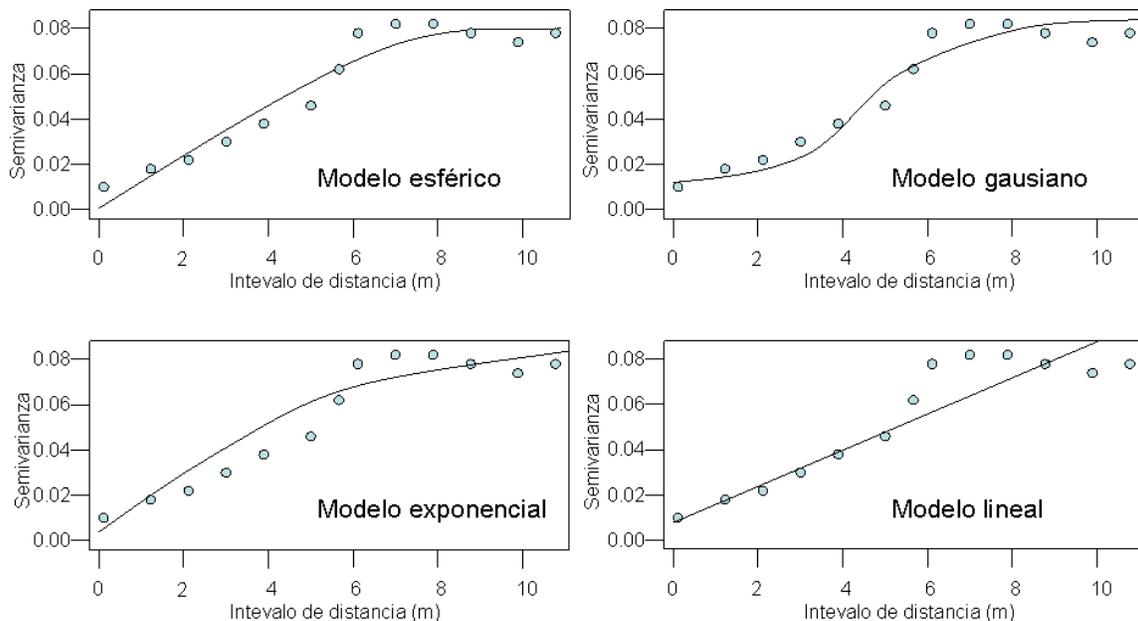


Figura 2.15 Modelos de ajuste para semivariograma

El ajuste a una función permite extraer una serie de parámetros que son utilizados para realizar la interpolación geoestadística (kriging) y que definen el grado y escala de la variación espacial. Estos parámetros son el rango (A_0), el *nugget* (C_0), el *sill* (C_0+C), y la proporción de la varianza dada por el espacio (C/C_0+C), frecuentemente expresada como porcentaje. Ver figura 2.16

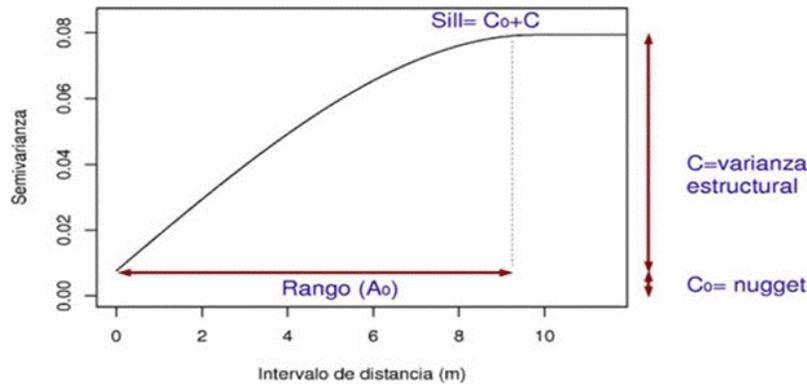


Figura 2.16 Parámetros para ajuste del semivariograma

El rango (A_0) es la distancia en la que la semivarianza deja de aumentar. El rango por tanto, indica la distancia a partir de la cual las muestras son espacialmente independientes unas de otras. El nugget (C_0) es la varianza no explicada por el modelo, y se calcula como la intercepción con el eje Y. Se conoce también como varianza error puesto que la varianza de dos puntos separados por 0 metros debería ser 0. Es por ello que esta varianza está normalmente indicando variabilidad a una escala inferior a la muestreada. La máxima semivarianza encontrada entre pares de puntos se conoce como *sill* y debe coincidir con la varianza de la población. La relación C/C_0+C indica el grado de variación espacial, y por tanto el grado de incertidumbre a la hora de interpolar puntos en el espacio. Un alto cociente indica una variable especialmente muy predecible.

2.6.2. Selección del modelo

El criterio para la selección de un modelo si no se cuenta con información a priori, se realiza dejando que un determinado software ajuste automáticamente el mejor modelo con base en el mínimo de la suma de los cuadrados o bien si se tiene información a priori del comportamiento de la variable, puede realizarse el ajuste manual de los modelos al semivariograma. De esta forma, se puede fijar el *nugget*, el *sill* o el rango dependiendo del tipo de información que tenga la variable y ajustar los parámetros de los que no se tiene información.

Se debe tomar en cuenta que los rangos del modelo esférico y el exponencial no son directamente comparables. El modelo esférico es el único que tiene un verdadero *sill*, ya que tanto el modelo exponencial como gaussiano alcanzan el *sill* de forma asintótica, o lo que es lo mismo, no lo alcanzan nunca. Estos tres modelos anteriores se conocen como modelos transicionales por que en ellos se puede estimar el *sill*, sea verdadero o no. El modelo lineal no cuenta con un *sill* y no es un modelo transicional. Los rangos –distancia que alcanza el *sill*- no son directamente equivalentes entre modelos. El modelo esférico es el más usado, por que tiene verdadero *sill*. En segundo lugar el exponencial sobre el gaussiano, por que aunque este último refleja muy bien la continuidad espacial, la interpolación de puntos basada en este modelo es muy exigente con respecto a los valores de entrada, produciendo frecuentemente representaciones gráficas alejadas de la realidad.

Por último, el modelo lineal es usado para reflejar una pobre estructura espacial o una estructura espacial cuya dimensión supera la del área de estudio.

2.7 Sistema de Información Geográfica GIS

Los mapas de estimación de cobertura al ser generados a partir de información que cuenta con los datos de posición –latitud y longitud- es posible trasladarlos a un Sistema de Información Geográfica GIS, que permite observar, identificar, interpretar y visualizar la información en distintas maneras que dejen ver las relaciones, tendencias o patrones en forma de mapas [13].

El GIS tiene la capacidad de poder ser utilizado sobre un área específica y de esta forma, facilitar la tarea de monitorear y localizar el comportamiento de propagación de la señal transmitida por las celdas de los Nodos B, observando la distribución de las características en el mapa.

El marco teórico revisado en esta sección, permite tener un entendimiento de la manera en la que la tecnología y la Red de Acceso de WCDMA funcionan y poder realizar las mediciones requeridas en campo; identificando los Indicadores de Desempeño Clave del sistema, necesarios para su posterior análisis y procesamiento a través de las herramientas de software también descritas en este apartado.

En la siguiente sección se presenta el procedimiento empleado para configurar tanto la prueba, como el equipo de medición, para que a través de una de sus aplicaciones de software activadas para la evaluación de la tecnología WCDMA, se realicen las mediciones “sobre el aire” de los Códigos de Mezclado transmitidos por los distintos Nodos Bs en un punto determinado.

Posteriormente se detallan los pasos mediante los cuales las mediciones recopiladas, son extraídas, preparadas y procesadas con herramientas de computo para extraer los distintos valores asociados al canal CPICH y que permiten generar los mapas de estimación de cobertura y su traslación final sobre un Sistema de Información Geográfica.

3. Mediciones

Introducción

La optimización de las redes celulares no es una materia nueva, dado que a medida que nuevas tecnologías emergen, el tema se mantiene tan reciente como antes. En el presente trabajo un método es propuesto, en el que los factores de desempeño de nivel de enlace de la tecnología WCDMA, son considerados para determinar la distribución de los Códigos de Mezclado presentes en un área determinada. La técnica utilizada para estimar la distribución de potencia de la señal transmitida por el Nodo B, es el del método de Krige, el cual es un método de interpolación que ha probado ser útil en muchos campos. Este método provee, a partir de una muestra de puntos, ya sean regular o irregularmente distribuidos, valores estimados de aquellos sitios donde no hay información, sin sesgo y con una varianza mínima conocida.

Uno de los factores para caracterizar el desempeño de nivel de enlace, es a través de la potencia del Canal Piloto Común. La calidad del canal CPICH puede ser medida en términos de la relación E_c/I_o , que se define como la relación de energía por chip a la densidad de interferencia. Las terminales móviles escanean en busca del canal CPICH de manera continua y miden la relación E_c/I_o de todas las señales piloto que pueden ser detectadas. Con el fin de mantener una terminal móvil asociada a una celda, el valor de la relación E_c/I_o debe exceder un umbral mínimo en todo momento. Las relaciones E_c/I_o medidas también son utilizadas para la selección de la celda al momento de realizar un traspaso de llamada.

La manera de obtener la información de potencia de los canales CPICHs que son transmitidos por las estaciones base es mediante un instrumento de medición que permite realizar la demodulación de la señal WCDMA y la decodificación del o los Código de Mezclado detectado(s) en el punto de medición y que corresponde a la celda(s) o sector(es) que lo transmite. Al ser decodificado el Código de Mezclado, es posible acceder a información tal como, la potencia del canal CPICH, el valor de la relación E_c/I_o , el valor de E_c y la Dominancia del Piloto.

3.1 Configuración de la Medición

El instrumento de medición utilizado para la detección de los Códigos de Mezclado en la zona de interés es un analizador de espectro con rango de frecuencia de 9 kHz a 7.1 GHz que cuenta con aplicaciones de software para llevar a cabo el análisis de la señal WCDMA. El analizador de espectro tiene una especificación de Nivel de Ruido Desplegado Promedio DANL <-163 dBm, en un ancho de banda de resolución de 1 Hz a 1 GHz. El analizador, a través de las aplicaciones de software enfocadas al análisis de la tecnología WCDMA/HSDPA permite realizar las mediciones de desempeño mediante alguna de las dos formas siguientes de acuerdo a [8]:

1. “Sobre el aire” OTA (Over the Air), usando una antena en la banda de frecuencia apropiada, o
2. Mediante conexión directa del instrumento de medición hacia la estación base o el Nodo B/WCDMA.

El instrumento de medición analizador de espectro al habilitar las aplicaciones de software para la tecnología WCDMA, permite realizar la evaluación de la señal transmitida por el Nodo B en el Enlace de Bajada a través de tres mediciones distintas:

- 1) Mediciones de radio frecuencia,
- 2) Demodulación de la tecnología WCDMA y
- 3) Mediciones “sobre del aire”

El análisis del presente trabajo se hizo utilizando la medición de “sobre del aire” para realizar la identificación de los Códigos de Mezclado presentes en el área de interés, la cual, se muestra delimitada por el cuadro en color rojo en la figura 3.1 y que corresponde a la zona académica de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos del Instituto Politécnico Nacional. El sistema UMTS sobre el cual se realizó el estudio, emplea una portadora de frecuencia con un valor de $f_c = 887.5$ MHz, que pertenece a la Banda V de los canales adicionales de sistema UMTS para el Enlace de Bajada. Adicionalmente para realizar las mediciones, se utilizó una antena omni-direccional que opera en la banda de frecuencia de 870 a 960 MHz, que se conecta en el puerto de entrada de radio frecuencia del instrumento.

En la figura 3.1 también pueden observarse las ubicaciones que tienen las cuatro estaciones base -Nodos B- más cercanos al área de estudio. El área definida está conformada por distintas construcciones representativas por su altura, como son, los 9 edificios con estructura alargada de 3 pisos –aproximadamente de 13.0 metros de altura- ubicados de oriente-poniente, un edificio adyacente, perpendicular a éstos 9, con una orientación norte-sur –con la misma altura-, el auditorio con una altura aproximada de 13 metros, la biblioteca, el planetario, y la zona deportiva en la que también se encuentra un estadio con una altura de 6 metros.



Figura 3.1 Área de estudio

Todas las mediciones se realizaron con el equipo de medición colocado a una altura de 1 metro y 10 cm sobre el nivel del piso y desplazándose con él a pie por los exteriores de las construcciones del área definida, como se muestra en la figura 3.2. De esta forma se considera la altura promedio en que los usuarios hacen uso de sus terminales móviles o modems inalámbricos de tecnología WCDMA en los corredores, pasillos, áreas verdes y de esparcimiento, así como también en el área de estacionamientos.

Para cada una de las mediciones en las que se obtiene la decodificación de los Códigos de Mezclado, es necesario contar con la información de geo-referenciación en el punto en donde es identificado el o los Códigos de Mezclado. Para agregar esta información de posición en cada una de ellas, se activó la funcionalidad de GPS que se encuentra ubicada en el menú de “sistema” del analizador de espectro y se conectó la antena de GPS en el conector disponible para este propósito, localizado en el panel superior de conectores del analizador indicado en [7]. Esta funcionalidad requiere que la antena de GPS se encuentre en el exterior, esperar unos cuantos minutos para que consiga rastrear al menos 4 satélites y así, poder contar con la información de posición Latitud, Longitud, Altitud y Tiempo.



Figura 3.2 Posición del analizador para realizar mediciones a través del aire

3.2 Mediciones “sobre el aire”

La medición “sobre el aire” requiere del uso de una antena en el ancho de banda de frecuencia apropiado, en lugar de una conexión física al puerto de transmisión o al punto de monitoreo de potencia del equipo Nodo B. En este modo de medición se tiene dos opciones de medición de acuerdo con [8] que son:

- 1) La identificación de Códigos de Mezclado y
- 2) La identificación de Multi-trayectorias para un Código de Mezclado específico.

En la figura 3.3 se muestra la pantalla del instrumento de medición con la aplicación “sobre el aire”, desplegando los Códigos de Mezclado presentes en un punto dentro del área de interés. El número máximo de códigos que pueden ser decodificados por el analizador es de seis, representados por las barras verticales y cuyo valor del Código de Mezclado se encuentra debajo de éstas. La configuración requerida en el analizador para realizar la decodificación de la señal WCDMA se establece a partir del siguiente procedimiento [5]:

1. Establecer la frecuencia o el canal de WCDMA apropiado
2. Seleccionar la manera en el que los Códigos de Mezclado van a ser buscados por el analizador, pudiendo ser de dos formas: automático o manual:
 - a. El analizador en el modo automático realiza la búsqueda de los seis Códigos de Mezclado con mayor intensidad.
 - b. En el modo manual se introduce el conjunto de Códigos de Mezclado de interés y el analizador busca únicamente estos códigos especificados.

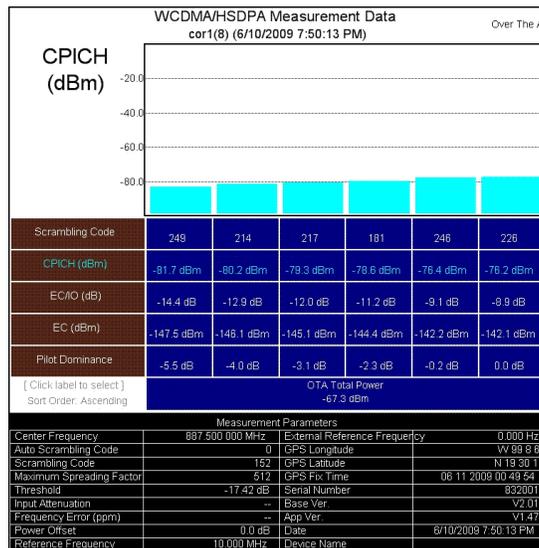


Figura 3.3 Pantalla “OTA” de captura de información de Códigos de Mezclado

La medición “sobre el aire” permite determinar el número de sectores que están transmitiendo en un punto de un área determinada, así como, conocer si la Dominancia del Piloto PD, (Pilot Dominance) del Código de Mezclado más intenso con respecto al siguiente más intenso, es suficiente para realizar las mediciones de Potencia en el Dominio del Código, CDP (Code Domain Power) sobre el aire (el valor típico es de 9 dB o mayor). Por tal motivo, la configuración seleccionada de la forma en que los Códigos de Mezclados son identificados por el analizador es el modo automático.

Los parámetros asociados a cada Código de Mezclado que se encuentran ubicados debajo de las barras verticales son: el número de Código de Mezclado, el valor de la potencia del canal CPICH, el valor de la relación E_c/I_0 , el valor de la potencia de E_c y la Dominancia del Piloto.

3.2.1 Verificación de Cobertura de Sectores Múltiples

Los Códigos de Mezclado indican aquellos sectores que están transmitiendo en la ubicación actual. Sin embargo, la presencia de demasiados sectores provoca una contaminación de Códigos de Mezclado o pilotos y los valores de los parámetros asociados a este código tales como la relación E_c/I_0 , E_c , y la Dominancia de Piloto proporcionan información valiosa del estado del sistema.

E_c , es una medición de la potencia piloto sobre el aire. Ésta es utilizada frecuentemente para realizar verificaciones de niveles de cobertura. Ésta deberá tener el valor más alto cerca de la torre, reduciéndose a un nivel mínimo en el punto de transferencia de llamada o límite del sector/celda.

E_c/I_0 , indica la calidad de la señal de cada Código de Mezclado.

3.2.1.1 Valores de Referencia

Para los Códigos de Mezclado, es recomendable que sean observados 3 o menos de 3 Códigos de Mezclado, que estén dentro de los 15 dB del código dominante, y se encuentren presentes en más del 95% del área de cobertura. [6,17]

El valor de E_c , deberá ser mayor a -88 dBm en más del 97% del área de cobertura.

La relación E_c/I_0 , deberá ser mayor a -9 dBm en más del 95% del área de cobertura.

La Dominancia del Piloto, deberá ser mayor a 10 dB para pruebas de calidad de señal sobre el aire.

3.2.2 Almacenamiento de las mediciones

Una vez que aparecen en la pantalla los Códigos de Mezclado decodificados por el analizador en un punto específico junto con la información de GPS asociada, la medición es almacenada en su memoria interna. Todos los archivos almacenados son descargados posteriormente a través del puerto Ethernet o USB del instrumento a un computador para ser interpretados a través de la herramienta de software de administración de archivos *Master Software Tools* MST. Esta herramienta de software permite la elaboración de reportes y visualizar nuevamente la medición como se observa en el analizador y adicionalmente exportar la información a un formato del tipo (valores separados por comas) *.csv para su posterior procesamiento y análisis [7].

En la tabla 3.1 se muestran los parámetros de interés contenidos en el archivo con formato “*.csv:” y obtenidos de una sola medición, la cual queda geo-referenciada por los valores de Latitud y Longitud asociados. En la tabla se observa que fueron localizados seis Códigos de Mezclado –número máximo que permite el analizador- y uno de ellos en la columna de Dominancia de Piloto tiene el valor de cero. El valor cero significa que este código -226- es el Código de Mezclado –piloto- dominante y en consecuencia los valores tanto del canal CPICH como del valor de la potencia E_c , tienen la mayor intensidad de potencia en ese punto, así como la relación E_c/I_o es la que tiene un valor mayor.

Tabla 3.1 Resultados de una medición en un punto con los valores de Latitud y Longitud asociados

	CPICH (dBm)	E_c/I_o (dB)	E_c (dBm)	Código de Mezclado	Dominancia Del Piloto
1	-78.575	-11.231	-144.419	181	-2.342
2	-80.241	-12.896	-146.084	214	-4.008
3	-79.295	-11.95	-145.138	217	-3.062
4	-76.232	-8.888	-142.076	226	0
5	-76.405	-9.06	-142.248	246	-0.172
6	-81.702	-14.357	-147.545	249	-5.469
Longitud			Latitud		
-1076004766			1051607530		

3.2.3 Extracción de información

Los datos utilizados para procesar la información mediante la herramienta de Krige y generar los mapas de estimación de cobertura, se obtiene a partir de la información de posición –Latitud y Longitud- y de los parámetros de potencia del canal CPICH o del valor de la potencia E_c presentes en cada una de las mediciones y contenida en los archivos convertidos al formato con extensión “*.csv”.

Utilizando un programa basado en lenguaje C –Anexo 1-, se leen los archivos de todas las mediciones realizadas y se extraen los valores tanto de posición –Longitud y Latitud- que se encuentran en las celdas B9 y B10 respectivamente, como de los parámetros CPICH, E_c/I_o , E_c , el número de Código de Mezclado y la Dominancia del Piloto que se

encuentran en las celdas a partir de la columna B131 a la F131 y de los renglones B131 al G136 de los archivos “*.csv”, como se muestra en la tabla 3.2.

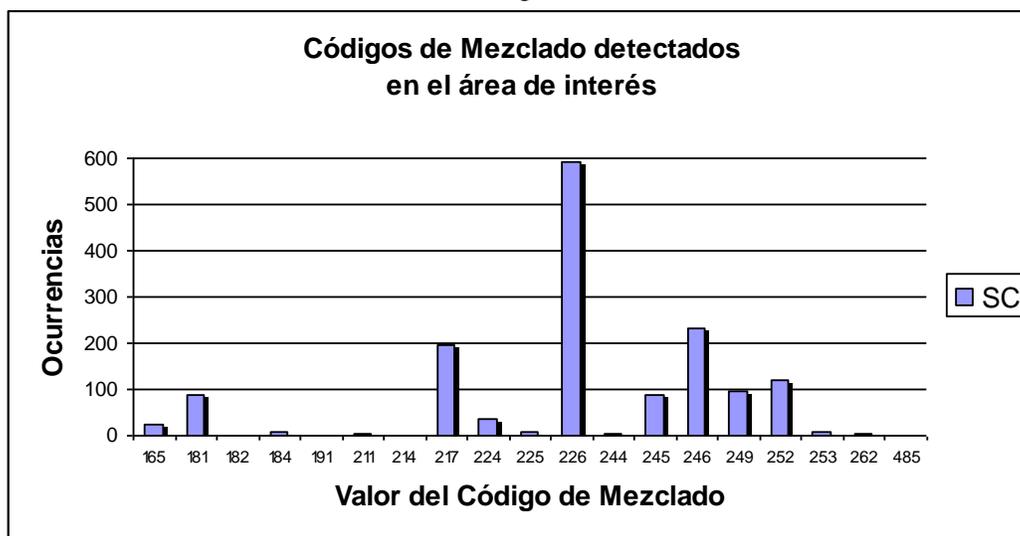
En aquellas mediciones en las que no están presentes los seis Códigos de Mezclado, las celdas muestran los valores de -1000 y -1 en las columnas B, C, D, E y F respectivamente. De tal forma que, únicamente en aquellos renglones en los que los valores tienen un valor diferente a los anteriormente citados representan valores válidos y son tomados en cuenta por el programa para la extracción de la información.

Tabla 3.2 Ubicación de los parámetros en archivo *CSV

	A	B	C	D	E	F
131	OTA_POINT_0	-83.828	-12.668	-149.672	217	-5.722
132	OTA_POINT_1	-78.105	-6.945	-143.949	226	0
133	OTA_POINT_2	-1000	-1000	-1000	-1	-1000
134	OTA_POINT_3	-1000	-1000	-1000	-1	-1000
134	OTA_POINT_4	-1000	-1000	-1000	-1	-1000
136	OTA_POINT_5	-1000	-1000	-1000	-1	-1000
		CPICH (dBm)	Ec/Io	Ec (dBm)	Código de Mezclado	PD

Una vez que la información ha sido extraída en un solo archivo, se separan todas las mediciones realizadas de un total de 1591 por Código de Mezclado y de esta forma se conoce el número de ocurrencias en las que los Códigos de Mezclado están presentes en el área definida, como se muestra en la tabla 3.3. De esta forma, un total de 19 distintos Códigos de Mezclado fueron identificados, teniendo el mayor número de ocurrencias el Código de Mezclado 226 perteneciente al Nodo B identificado como Lindavista.

Tabla 3.3 Cantidad de Códigos de Mezclado detectados



Adicionalmente a las mediciones realizadas dentro del área delimitada, se tomaron mediciones debajo de las estaciones base que por su ubicación se consideraba atendían únicamente a la zona de Zacatenco. De esta manera, fue posible conocer los valores de los tres Códigos de Mezclado utilizados en una misma estación base de acuerdo a la figura 3.1 y que están asociados a los Nodos B de la siguiente manera:

- Códigos de Mezclado Nodo B Lindavista: 224, 225 y 226;
- Códigos de Mezclado Nodo B Ticomán: 244, 245 y 246;
- Códigos de Mezclado Nodo B Wilfrido: 181, 182 y 183;
- Códigos de Mezclado Nodo B La Escalera: 164, 165 y 166 y
- Códigos de Mezclado Nodo B Fortuna: 217, 218 y 219

3.2.4 Creación de niveles de cobertura

La herramienta de Krige utilizada para generar los mapas de estimación de cobertura, es una aplicación de software que se ejecuta sobre el Software Matlab. La información extraída de todas las mediciones, se concentró en un solo archivo de salida con el formato que muestra en la Tabla 3.4. Los parámetros considerados para generar los mapas de estimación de cobertura son los valores de posición, junto con el valor de la potencia del canal CPICH y/o el valor de E_c . De esta manera, dos tipos de análisis de cobertura con base en niveles de potencia es posible realizar, uno con base en la potencia del canal CPICH, el cual representa 1/10 de la potencia transmitida por la estación base y otro con base en la potencia del valor E_c .

Tabla 3.4 Archivo de Salida de extracción de valores

LONGITUD	LATITUD	CPICH	E_c/I_0	E_c	SC	PD
-99.1341667	19.5008333	-93.541	-14.227	-159.384	485	-6.665
-99.1341667	19.5008333	-99.006	-14.227	-164.849	485	-3.013
-99.1344444	19.4994444	-96.259	-16.19	-162.102	262	-5.053
-99.1341667	19.5008333	-96.003	-16.689	-161.846	262	-9.127
-99.1338889	19.5008333	-92.915	-16.689	-158.759	262	-9.127
-99.1344444	19.5030556	-86.386	-17.021	-152.229	253	-10.303
-99.1344444	19.5027778	-87.767	-17.021	-153.61	253	-10.221
-99.1344444	19.5027778	-89.193	-17.021	-155.037	253	-9.42

El método de Krige consiste básicamente de 4 pasos para la creación de los mapas de estimación de cobertura que son:

- 1) la preparación de datos,
- 2) el variograma,
- 3) el Kriging y
- 4) la visualización.

3.2.4.1 La preparación de los datos

El primero paso está relacionado con la preparación de los datos. En la ventana de diálogo de la herramienta, éstos deben ser cargados desde un archivo de datos el cual debe tener el formato de un archivo de texto plano (formato ASCII) con extensión “*.txt” y en el que los datos se acomodan en tres columnas cuando se trabaja en 2 dimensiones 2D. En este caso, para un archivo de datos de 2D se realizan ajustes en la sección de “formato del archivo de datos” sobre los ejes X y Y únicamente.

En la figura 3.4 se muestra la ventana de diálogo de la preparación de datos con la información de posición y de potencia del canal CPICH correspondiente al Código de Mezclado 181. En la parte superior izquierda se muestra la distribución de los puntos de las mediciones referenciados y acotados por la información de Latitud y Longitud.

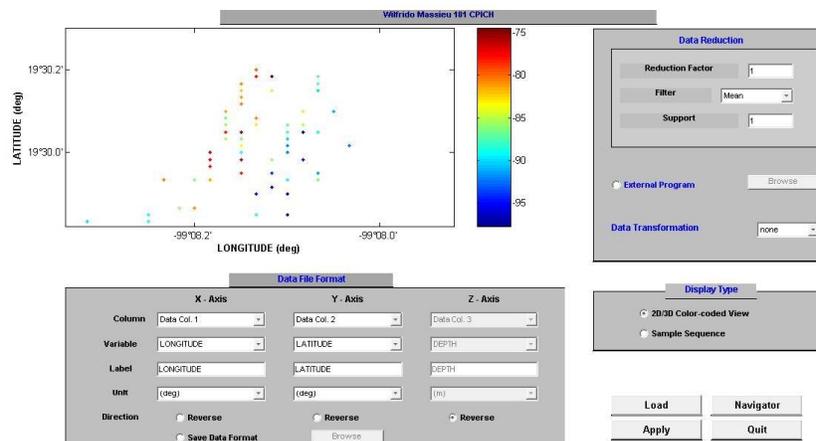


Figura 3.4 Ventana de diálogo de preparación de datos

3.2.4.2 El variograma

El segundo paso corresponde a la generación y ajuste de la función del variograma. Éste se crea a partir de los datos suministrados en el paso anterior, presionando el botón “Compute” localizado en el recuadro inferior derecho de la ventana de dialogo del variograma. Una vez creado el variograma se aplica la función de ajuste del variograma; siendo la función de ajuste de mínimos cuadrados LSQ (Least Square) la utilizada al presionar el botón “LSQ Fit”. Este ajuste genera la línea en color rojo sobre el variograma mostrada en la figura 3.5 en la parte superior izquierda de la ventana de diálogo.

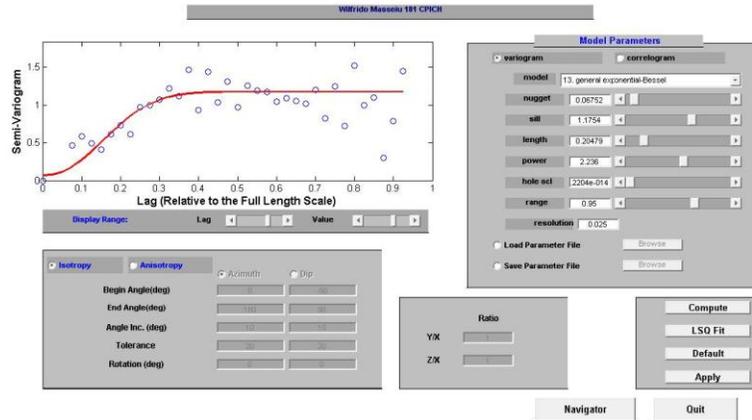


Figura 3.5 Ventana de diálogo de variograma

3.2.4.3 El kriging

En el menú de tareas “Task” de la ventana de diálogo principal de la herramienta de EasyKrig se selecciona “kriging” y una nueva ventana de diálogo se muestra. En esta ventana los parámetros de Kriging utilizados es “Ordinary kriging” y presionando el botón de “Krig” ubicado en la parte inferior izquierda de la ventana de diálogo, da inicio al proceso de interpolación.

3.2.4.4 La visualización

Una vez terminado el proceso de kriging, es necesario seleccionar nuevamente del menú tarea “Task” la opción de visualización “Visualization” y presionar el botón mostrar trazo “Show Plot”. En este paso, el mapa de estimación es generado como se observa en la imagen de la figura 3.6 y de esta forma es como se obtiene la estimación de la distribución de potencia del canal CPICH para el Código de Mezclado 181 en el área seleccionada; quedando definido en el eje X por la información de Longitud, en el eje Y por la información de Latitud y por distintos colores que representan los niveles de potencia; siendo el color rojo la potencia más alta y el color azul la potencia más baja.

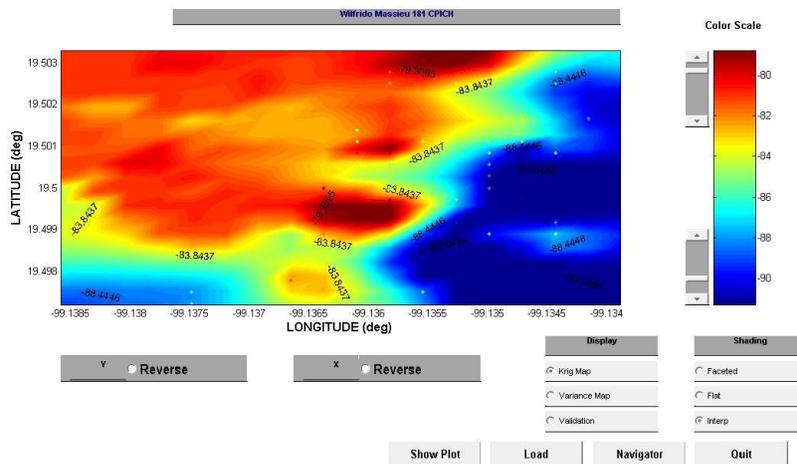


Figura 3.6 Mapa de la estimación de cobertura para el CPICH del CM 181

Finalmente, la Validación es un paso más utilizado para verificar la distribución estadística de los residuos entre los datos observados y los valores krigeados en las ubicaciones de observación originales utilizando los mismos parámetros de Kriging y parámetros del modelo de variograma. Para realizar las validaciones cruzadas se utilizó el método Q-1, en el que un arreglo residual cruzado E_r es construido. Q-1 verifica las estadísticas de la media del arreglo residual cruzado E_r y sigue aproximadamente la distribución normal.

La región de aceptación queda definida en el programa por dos líneas verticales en color negro en el valor 0.25 como se muestra en la figura 3.7.

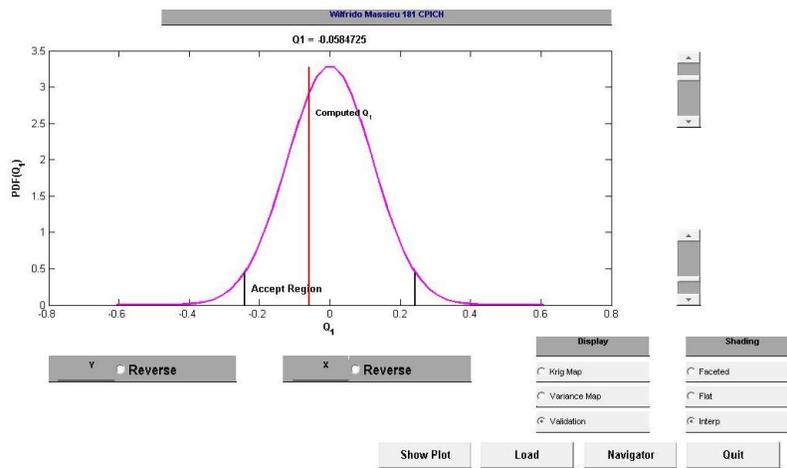


Figura 3.7 Validación del kriging

3.2.5 Mapas de estimación de cobertura

El procedimiento para la generación de los mapas de estimación de cobertura tanto para el parámetro de potencia del Canal Piloto Común, como para el de E_c fue repetido y aplicado al total de Códigos de Mezclado identificados. De un total de diecinueve Códigos de Mezclado, únicamente seis de ellos cubrieron el último paso de validación, en el que el valor de Q1 quedaba dentro de la región de aceptación. Por lo tanto, los Códigos de Mezclado con un mapa de estimación de cobertura validado resultaron ser los siguientes: 226, 181, 246, 217, 252 y 249.

Los colores de los mapas de estimación originalmente obtenidos de la herramienta de Matlab, fueron remplazados por colores sólidos que permitieran ser sobrepuestos y fácilmente visualizados sobre el Sistema de Información Geográfica GIS. Con base en la información de los valores máximos y mínimos obtenidos del total de muestras, se realizaron los ajustes en las escala de potencias sobre el mismo MatLab para los nuevos colores, quedando definidos de la siguiente manera para ambos parámetros evaluados como se muestra en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Escala de valores de potencia utilizados en el sistema GIS

Escala de colores	Valores para CPICH	Escala de colores	Valores para Ec
	>-78 dBm		>-130 dBm
	≤-78dBm >-82 dBm		≤-130dBm >-136 dBm
	≤-82dBm >-86 dBm		≤-136dBm >-142 dBm
	≤-86dBm >-90 dBm		≤-142dBm >-148 dBm
	≥-90dBm		≤-148dBm

3.2.6 Procedimiento para realizar la verificación de Códigos de Mezclado en la red de acceso WCDMA

En la figura 3.8 se muestra el diagrama de flujo con el procedimiento para llevar a cabo la verificación de la presencia de Contaminación de Códigos de Mezclado en una Red de Acceso WCDMA.

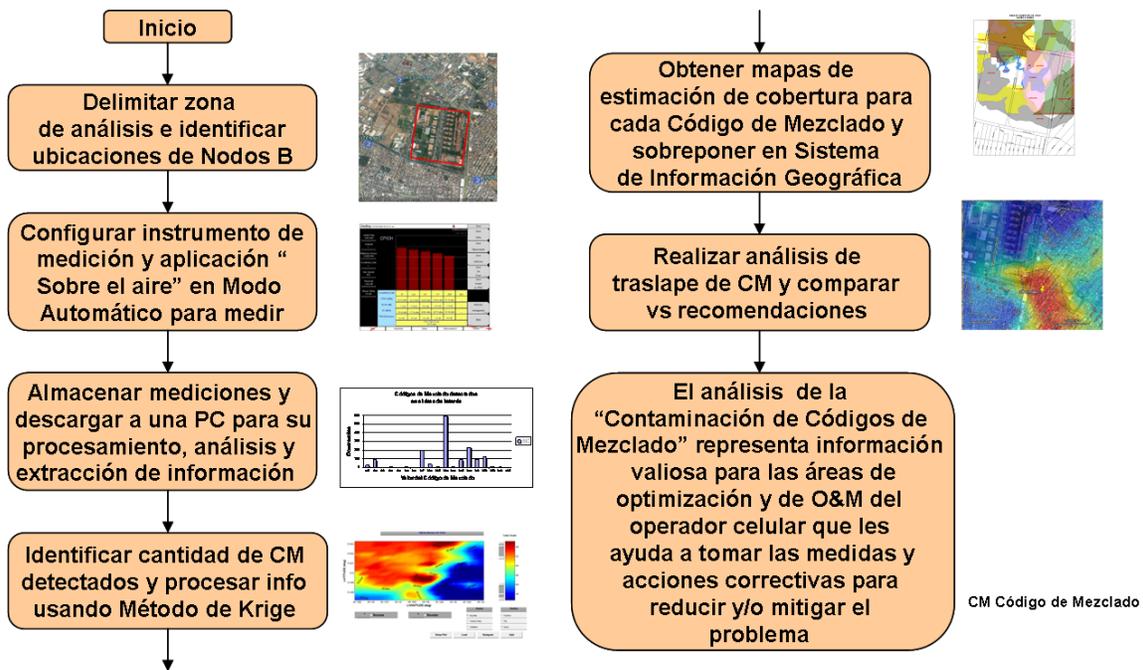


Figura 3.8 Diagrama de flujo para realizar la verificación de códigos de Mezclado en la red de acceso WCDMA

Primeramente es necesario realizar la delimitación del área que se quiere analizar, realizando un reconocimiento de la zona identificando y confirmando la presencia de los sitios en donde se ubiquen los Nodos B.

Mediante la herramienta de medición, con la funcionalidad de mediciones “sobre el aire” y configurado en la frecuencia utilizada para el Enlace de Bajada del sistema, es posible validar la presencia del sitio observando los Códigos de Mezclado demodulados por el instrumento y mostrados en la pantalla, en la cual al menos uno de estos códigos, debe sobresalir de manera significativa en cuanto a niveles de potencia, con respecto al resto que pudieran estar presentes.

Asumiendo una sectorización de 120 grados en los sitios Nodos B, tres valores de Códigos de Mezclado debieran poder ser identificados de manera clara.

Posteriormente se comienza a realizar las mediciones de manera espaciada, considerando una distancia de al menos de 5 metros entre medición y medición y se almacenan en la memoria interna del instrumento. Al completar la recolección de las mediciones programadas y almacenadas en la unidad, se extraen a una PC en donde son analizadas y procesadas a fin de conocer los Códigos de Mezclados que fueron identificados en el área.

La información de posición y potencia asociada a cada código de Mezclado es ingresada de acuerdo a un formato pre-establecido –manejo de información en dos dimensiones- en la herramienta de Software de Matlab, en donde es procesada empleando el método de Krige. La resultante es una representación de puntos continua que para este caso de análisis, son niveles de potencia referenciados al área de estudio. Los distintos mapas obtenidos para cada código de mezclado son trasladados y sobre puestos en el Sistema de Información Geográfica conforme a las geo-referencias que cada uno de ellos contienen.

La versatilidad del método de Krige en cuanto al manejo de la información recolectada de los parámetros de desempeño clave del sistema permite que sea posible realizar distintos tipos de análisis como los presentados en la siguiente sección de resultados.

4. Resultados

Introducción

A partir del ajuste de los niveles de potencia en la presentación de la información, fue posible obtener los nuevos mapas de estimación de cobertura como se muestran en las figuras 4.1 y 4.2 correspondientes a los valores de potencia del canal CPICH y de E_c respectivamente del Código de Mezclado 226 del Nodo B de Lindavista.

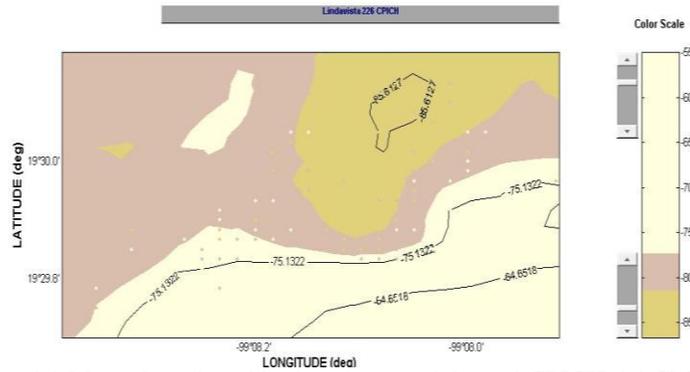


Figura 4.1 Mapa de estimación de cobertura del canal CPICH del CM 226

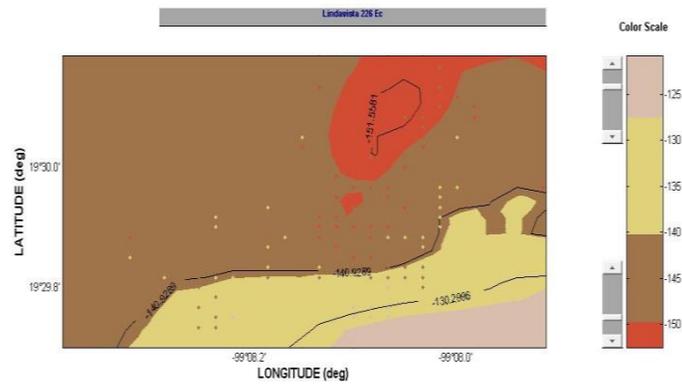


Figura 4.2 Mapa de estimación de cobertura del valor E_c del CM 226

Una vez que los mapas para los seis Códigos de Mezclado son ajustados en la escala de colores y potencia definidos en la tabla 3.5, se almacenan en formato “*.jpg”. Posteriormente, en el Software del Sistema de Información Geográfica ARCGIS, los archivos de imágenes son cargados y referenciados con la información de posición – Latitud y Longitud- de las esquinas de cada uno de los mapas de cobertura; obteniendo así, las imágenes de los mapas de estimación de cobertura de los seis Códigos de Mezclado para el área analizada que se describen a continuación.

4.1 Mapas de estimación de cobertura referenciados sobre GIS

4.1.1 El Código de Mezclado 226

Las imágenes de las figuras 4.3 y 4.4 corresponden a los mapas de cobertura que el sector del Nodo B de Lindavista con el Código de Mezclado 226 tiene en el área seleccionada. La imagen de la figura 4.3 muestra la información correspondiente a los valores con base en el valor de potencia del canal CPICH, mientras que en la imagen de la figura 4.4 se presenta la información con base en el valor de potencia E_c .

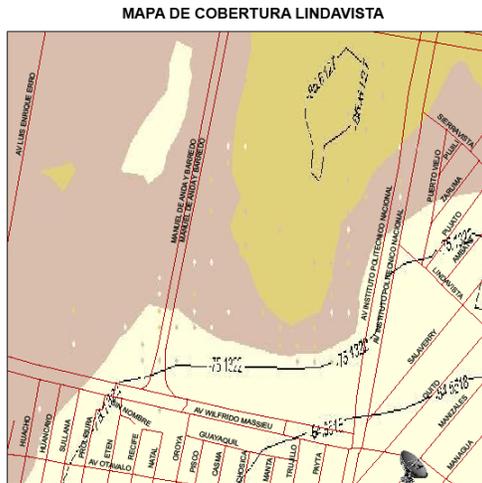


Figura 4.3 Mapa de estimación de cobertura del canal CPICH con CM 226 sobre GIS

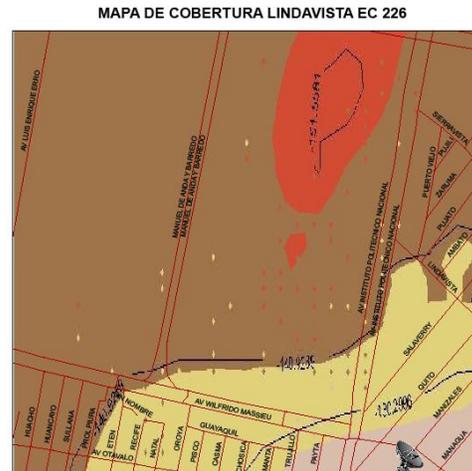


Figura 4.4 Mapa de estimación de cobertura de E_c con CM 226 sobre GIS

En ambas imágenes se observa la ubicación del Nodo B en el extremo inferior derecho de las mismas. A partir de este punto, hacia el Norte, en toda el área de estudio se observa un comportamiento muy similar para ambos parámetros evaluados; en el que la potencia de la señal va disminuyendo, como consecuencia de la atenuación en la propagación y de los obstáculos que la señal va encontrando en su trayectoria.

Siendo este Nodo B de Lindavista el más cercano al área de estudio, su sector con el Código de Mezclado 226 es el que se encuentra presente en la mayor parte del área analizada. Los niveles de potencia más altos quedan identificados por la primera banda de colores de la escala, en la parte inferior de la imagen -color blanco-. Después, la potencia de la señal comienza a disminuir y en la siguiente escala se observa un nuevo incremento en los niveles de potencia en una región al Noroeste del área. En esta área es en donde se ubica el estadio y una zona arbolada, por lo que este incremento en el nivel de potencia debe ser provocado por fenómenos tales como multi-trayectoria o reflexiones en la estructura del estadio lo que provocan este aumento en la potencia de la señal WCDMA.

4.1.2 El Código de Mezclado 181

Los mapas de cobertura para los valores de potencia del canal CPICH y de E_c asociados al Nodo B cuyo sector identificado en el área seleccionada transmite con el Código de Mezclado 181, se muestran en las figuras 4.5 y 4.6 respectivamente. La ubicación de este Nodo B está sobre la Av. Wilfrido Massieu y éste se observa en la parte inferior izquierda de las figuras. En este caso, la atenuación que sufre la señal se observa que es de izquierda a derecha, yendo de las tonalidades más claras a las más oscuras, siendo los valores de atenuación más altos -color rojo- del orden de 12dB en distancias no mayores a 200 metros.

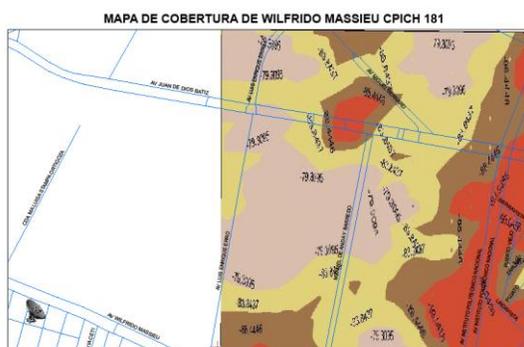


Figura 4.5 Mapa de estimación de cobertura del canal CPICH con CM 181 sobre GIS

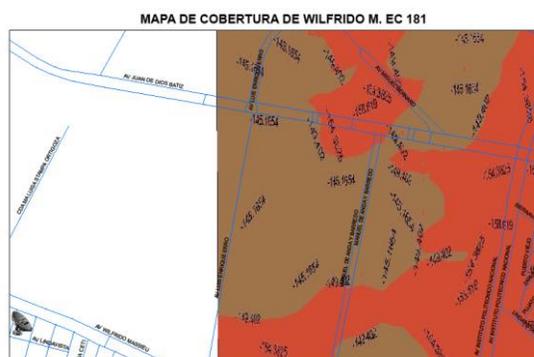


Figura 4.6 Mapa de cobertura de E_c con CM 181 sobre GIS

En la parte derecha de las imágenes, existe una franja de atenuación con los niveles de potencia más bajos encontrados y que corresponden a la obstrucción provocada por la estructura del edificio Z y del auditorio del centro cultural que se observan en la parte inferior derecha de las imágenes 4.5 y 4.6.

4.1.3 El Código de Mezclado 246

El nodo B identificado como Ticoman es un nodo que se localiza al Noreste del área seleccionada –parte superior derecha de las imágenes- y es a partir de su sector con Código de Mezclado 246 que se obtienen los mapas de cobertura para los valores de potencia del canal CPICH y de E_c mostrados en las figuras 4.7 y 4.8 respectivamente. Este Nodo B también se encuentra muy cerca del área seleccionada –aproximadamente 500 metros- y los niveles de potencias observados quedan definidos por los primeros cuatro colores de la escala de potencias.

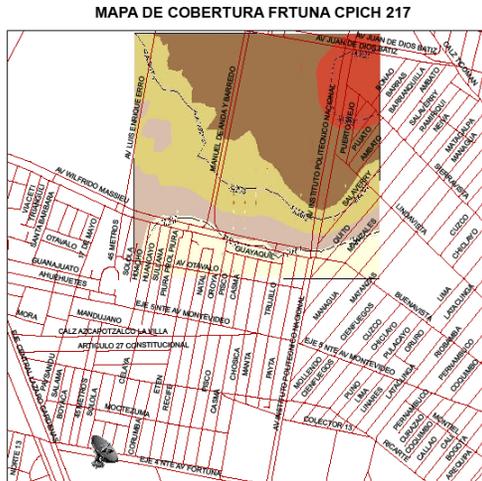


Figura 4.9 Mapa de estimación de cobertura del canal CPICH con CM 217 sobre GIS

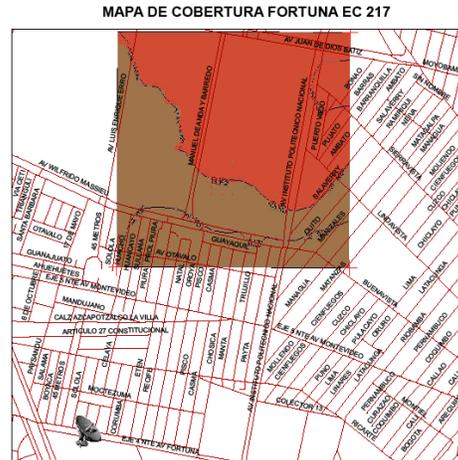


Figura 4.10 Mapa de estimación de cobertura de E_c con CM 217 sobre GIS

4.1.5 El Código de Mezclado 252

Dentro de este grupo de seis Códigos de Mezclado con mayor presencia en el área seleccionada, el que tiene el valor de 252 pertenece a un sector para el que no fue posible encontrar la ubicación del Nodo B que lo transmite. Sin embargo, a través de los mapas de estimación de cobertura y por la forma en que las franjas de los niveles de potencia se encuentran orientadas, sería posible intuir y llegar a determinar la posición de este Nodo B, realizando mediciones con una antena direccional en el rango de frecuencia apropiado conectada al puerto de RF de entrada y en el modo de analizador de espectro. Los mapas de cobertura para los valores de potencia del canal CPICH y de E_c obtenidos de este Nodo B con CM 252 y ubicación desconocida se muestran en las figuras 4.11 y 4.12

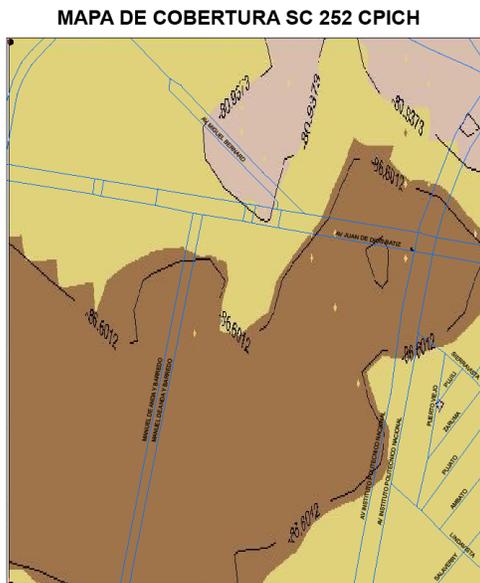


Figura 4.11 Mapa de estimación de cobertura del canal CPICH con CM 252

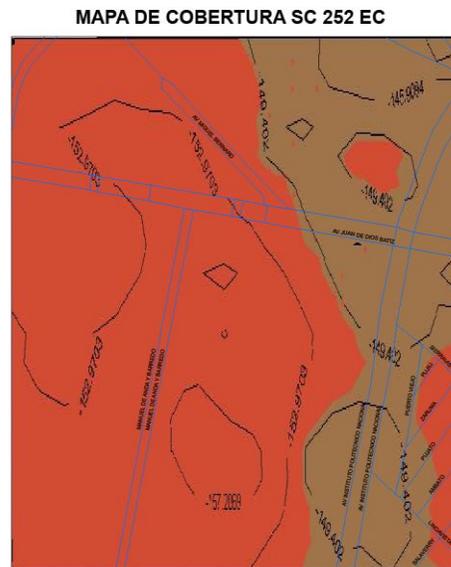


Figura 4.12 Mapa de estimación de cobertura de E_c con CM 252 sobre GIS

4.1.6 El Código de Mezclado 249

El último de los Códigos de Mezclado validados tiene el valor 249 y nombrado Indios Verdes. En este caso al ser un Nodo B que se encuentra alejado del área seleccionada, los valores de potencia esperados son bajos y se encuentran entre el 3er y 5to nivel de la escala de colores. Y una vez más el efecto de incremento de potencia en torno al área del estadio se hace presente. Los mapas de cobertura correspondiente a la potencia del canal CPICH y E_c del Nodo B con Código de Mezclado 249 y localizado por la zona de Indios Verdes se muestra en las figuras 4.13 y 4.14

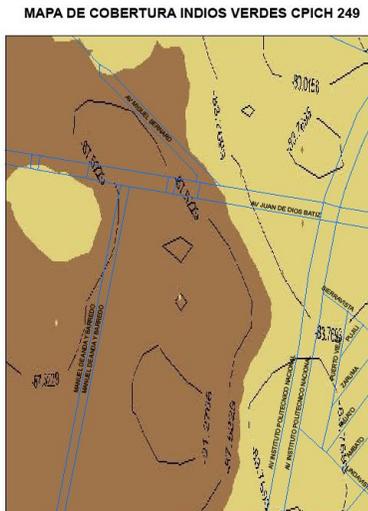


Figura 4.13 Mapa de estimación de cobertura del canal CPICH con CM 249 sobre GIS



Figura 4.14 Mapa de estimación de cobertura de E_c con CM 249 sobre GIS

4.2 Análisis de los seis Códigos de Mezclado por niveles de potencia

A través de la herramienta de ARCGIS es posible identificar las zonas geográficas que están siendo afectadas por situaciones en las que se tiene una contaminación excesiva de señales piloto. Sobreponiendo los mapas de estimación de cobertura en la información geográfica del lugar, es posible conocer los niveles de potencia que cada uno de los seis Códigos de Mezclado evaluados tienen en el área de estudio seleccionada y determinar en que zonas uno o varios de los Códigos de Mezclado se sobreponen unos con otros, pudiendo provocar problemas potenciales. En la primera parte de la sección 4.1 de resultados, cada uno de los Códigos de Mezclado se analizó de manera independiente, permitiendo conocer su cobertura y el comportamiento de la señal al transmitirse por los Nodos Bs.

A fin de conocer aquellas zonas en donde existe un traslape de Códigos de Mezclado en la zona de estudio, los niveles de potencia del canal CPICH de los seis CM fueron analizados de manera conjunta, con base en cada uno de los niveles de potencia definidos en el capítulo de mediciones en la sección 3.2.5. En la figura 4.15 se muestran los tres CM correspondientes a los sectores de Lindavista con CM 226, Fortuna con CM 217 y Ticoman con CM 246, que presentan niveles de potencia mayor a -78dBm .

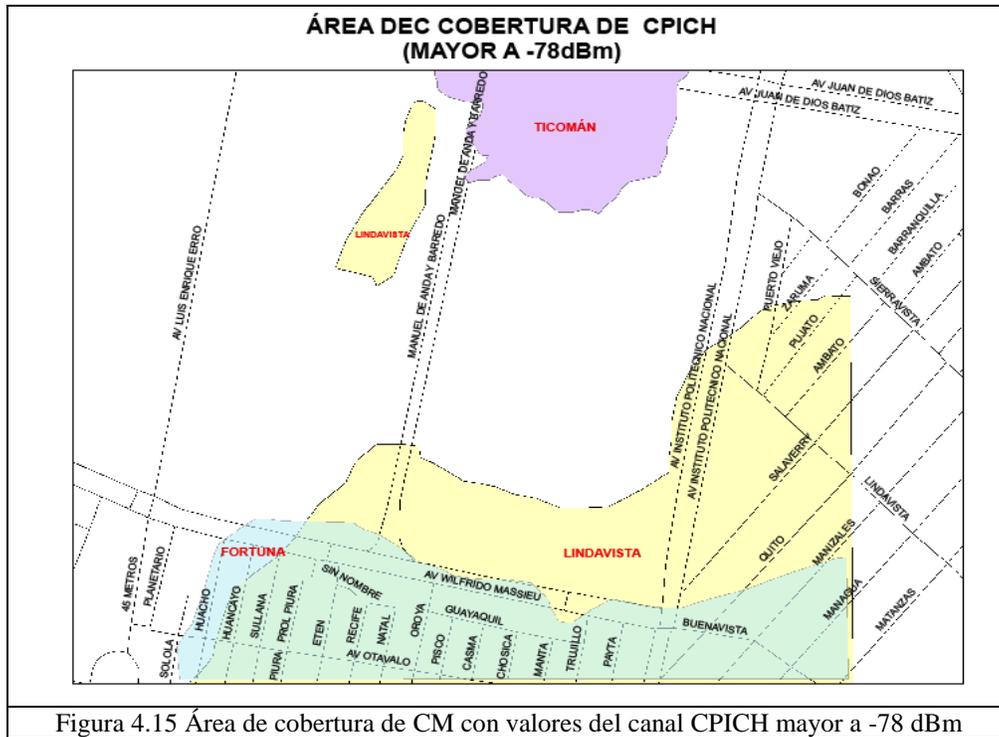


Figura 4.15 Área de cobertura de CM con valores del canal CPICH mayor a -78 dBm

Se puede observar que la estación base de Fortuna presenta un alto nivel de potencia en las cercanías de la estación base de Lindavista e incluso se traslapa con la cobertura de ésta última. Es de esperarse que la potencia de la estación base de Fortuna esté presente en el área de estudio seleccionada con valores de potencia menores. Cabe resaltar que la estación base de Fortuna se encuentra aproximadamente a 1.1 Km de distancia de la estación base de Lindavista y los niveles de potencia son muy similares, lo que puede en determinado momento provocar un problema de cobertura y afectación en el servicio.

Continuando con el análisis con base en el siguiente nivel de potencia, los Códigos de Mezclado cuyos valores están entre los -78 a los -82 dBm son los 5 CM mostrados en la figura 4.16. El sector de Lindavista con CM 226 por su cercanía al área seleccionada ocupa una gran extensión –color verde- de la misma. La estación base de Fortuna con su CM 217 como se mencionó anteriormente, debido a los niveles de potencia altos detectados en el área de estudio contribuye y tiene presencia en una franja que traslapa con el área de cobertura del CM 226 en la parte sur del área.

Por otro lado, el CM 181 transmitido por uno de los sectores de la estación base de Wilfrido, es el que presenta una cobertura que traslapa en un área mayor sobre aquella del CM 226 de Lindavista. En una menor proporción, también se observa la presencia del CM 246 correspondiente a la estación base de Ticoman cubriendo una región reducida de la parte Noreste y presentando traslapes de cobertura con los CM 226 y 181 de Lindavista y Wilfrido respectivamente en el área Noroeste del área.

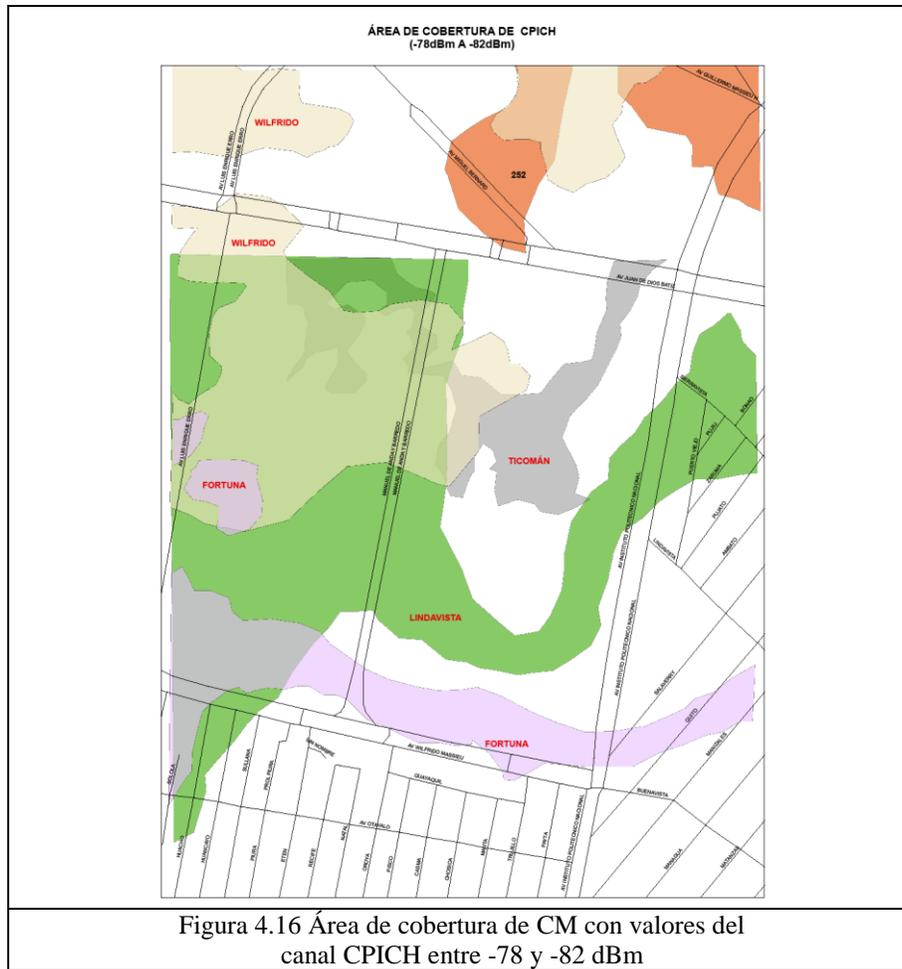


Figura 4.16 Área de cobertura de CM con valores del canal CPICH entre -78 y -82 dBm

La siguiente escala de valores definida con rangos entre -82 y -86 dBm se muestra en la figura 4.17. En esta escala se observa una traslape mayor de CM provenientes de las cuatro estaciones bases cercanas, de aquella para la cual no se encontró su ubicación física con CM 252, así como de la que proviene de la dirección de Indios Verdes con CM 249.

Considerando el sector con CM 226 de Lindavista, que es el más cercano al área seleccionada, se observa que la potencia de la señal en el área académica que comprende los edificios del 1 al 9 y el extremo Norte del edificio Z, sufre una atenuación de aproximadamente 4 dB al ser comparada con la figura 4.16. Así mismo, en esta zona al menos tres CM más – CM 246, 181 y 249- se traslapan con la cobertura del sector de la estación base de Lindavista con CM 226.

En el caso del CM 181 transmitido por uno de los sectores de la estación base Wilfrido, no obstante de encontrarse cerca al área seleccionada, su potencia en la parte Sur es prácticamente nula para valores mayores a -82 dBm como se confirma en las figuras 4.15 y 4.16. Sin embargo para este rango de potencia analizado en la parte centro-Norte una gran cantidad de traslapes es observado debido a los CM 252, 249, 226 y 246.

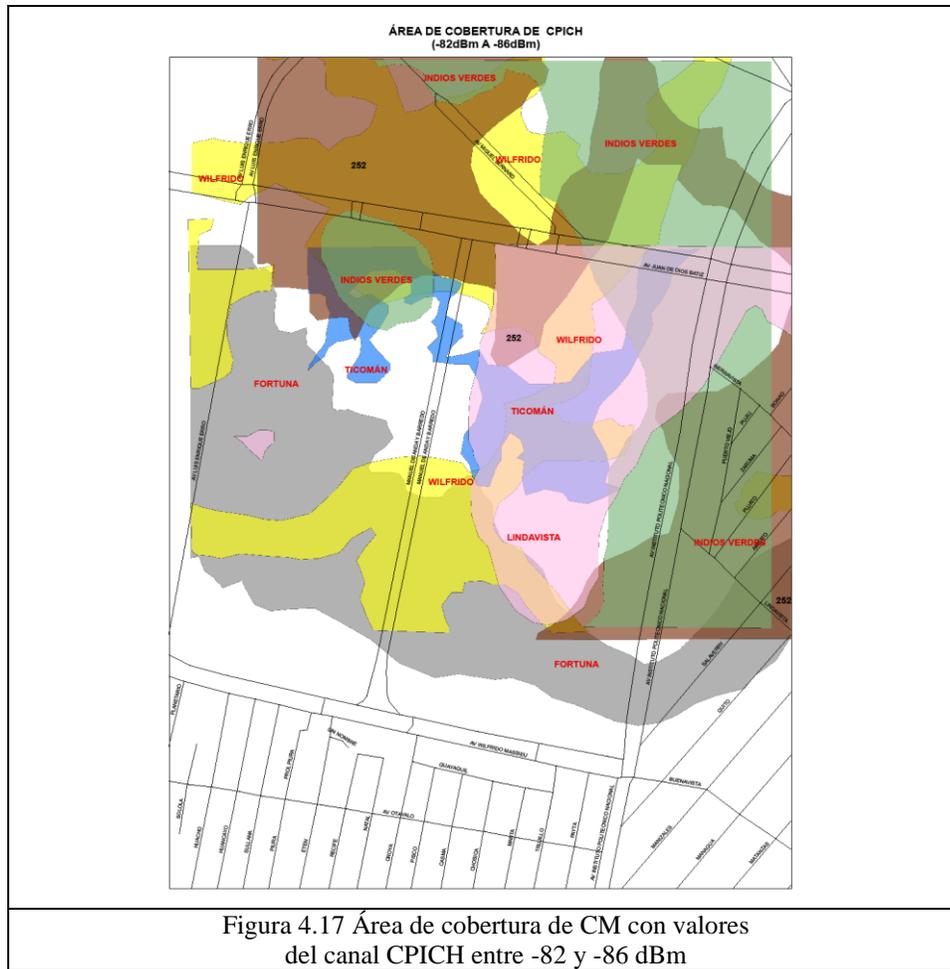


Figura 4.17 Área de cobertura de CM con valores del canal CPICH entre -82 y -86 dBm

La potencia de la señal del sector de la estación base de Fortuna con CM 217 sigue atenuándose conforme la señal viaja en dirección Norte, pero en la zona Este a partir del edificio 1-2 desaparece mientras que en la zona Oeste tiene presencia con algunos traslapes con la estación base de Wilfrido con CM 181

Una última escala de valores comprendida entre -86 y -90 dBm es considerada y mostrada en la figura 4.18. Se puede observar que únicamente cinco de los seis CM analizados se encuentran presentes en el área. En el caso de la estación base de Lindavista con CM 226, ya no muestra cobertura alguna en este rango de valores aunque es uno de los Nodos B más cercanos al área seleccionada.

4.3 Análisis de los valores E_c/I_o

Los valores de E_c/I_o proporcionan información relacionada con la interferencia provocada por las estaciones base vecinas. Los datos extraídos del programa en lenguaje C con el formato mostrado en la Tabla 3.4, permiten conocer por sector los valores que tiene el parámetro E_c/I_o y cuyo valor de -9dB o mayor en más del 95% del área de cobertura es necesario para que una terminal móvil quede asociada a un Nodo B y establezca una llamada de voz.

En la figura 4.19, se observa que el CM 226, es el que tiene en todo momento más posibilidades de que una terminal móvil conecte a ese sector, dada la cantidad de muestras con valores mayores a -9dB. Mientras que los otros Nodos B presentes en el área, generan ruido e interferencia en el sistema; como el caso del CM 225 que presenta ningún valor arriba de -9 dB, lo que significa que una llamada de voz no podría establecerse. El siguiente sector con CM 246 con más posibilidad de conexión de una terminal móvil, es el de Ticoman ubicado en el extremo Norte del área de Zacatenco.

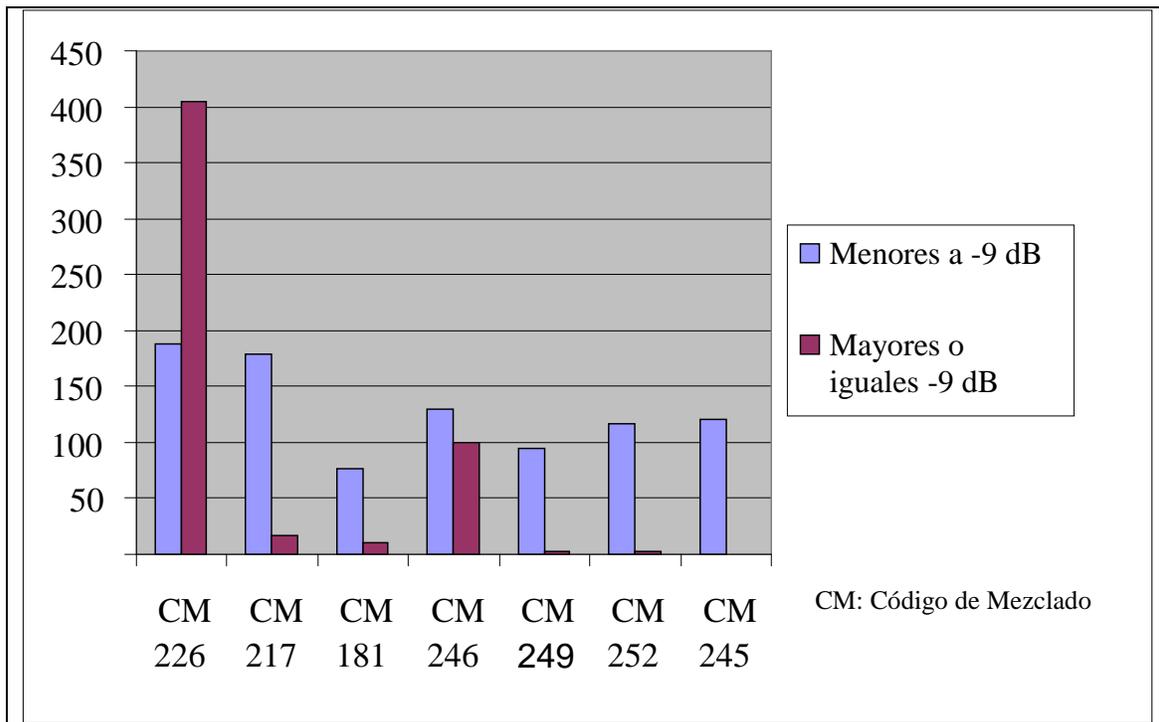


Figura 4.19 Distribución de valores de E_c/I_o por CM

La representación de los valores de la relación E_c/I_o nuevamente después de aplicar el método de Krige y trasladar el mapa de estimación al Sistema Información Geográfica, permite observar las zonas en las que la interferencia provocada por celdas vecinas es menor y con valores mayores a -9 dB. Esto se observa en la figura 4.20 siendo las zonas sureste y noreste las que tienen mayores probabilidades de que las terminales móviles consigan con mayor facilidad la conexión a un sector.

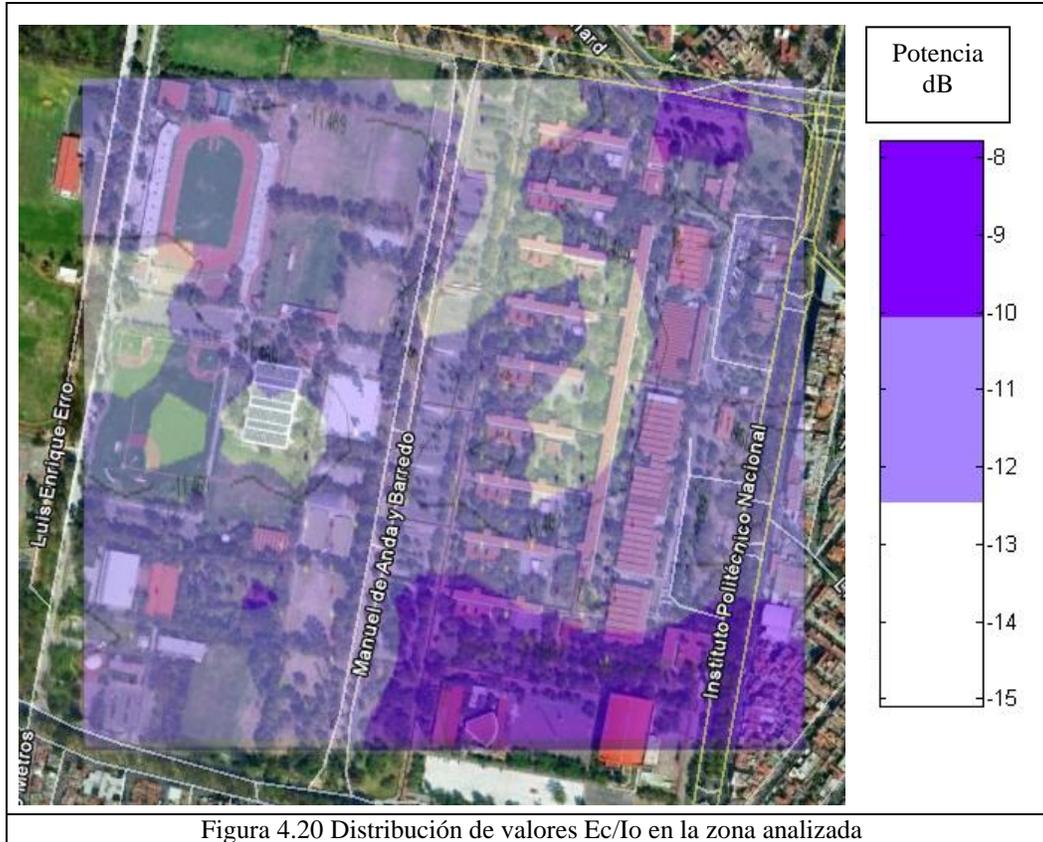


Figura 4.20 Distribución de valores E_c/I_0 en la zona analizada

En esta sección tres tipos de análisis de los mapas de estimación de cobertura son presentados. Un primer análisis muestra el comportamiento individual que tienen seis de los diecinueve Códigos de Mezclado identificados en el área analizada. Un segundo análisis se basa en un comparativo por niveles de potencia de estos seis códigos, que permite observar zonas en el que existe la presencia simultánea de varios de ellos. Y finalmente un último análisis enfocado en el parámetro E_c/I_0 permite conocer la interferencia provocada entre celdas vecinas.

Estos tres análisis aportan resultados importantes sobre el comportamiento de la Red de Acceso WCDMA en el área analizada, los cuales son resaltados en la siguiente sección de conclusiones.

5. Conclusiones

5.0 Conclusiones

En esta última sección se presentan los resultados experimentales del análisis de la contaminación de señales piloto en una red UMTS; las conclusiones de este trabajo pueden agruparse en los siguientes rubros

- **Identificación y validación de los Códigos de Mezclado de los Nodos B.**

A fin de tener la certeza sobre la validez de los Códigos de Mezclado encontrados, y conociendo la ubicación que tienen los Nodos B más cercanos al área de estudio, se realizaron varias mediciones debajo y en los alrededores de éstos, lo cual permitió validar e identificar los Códigos de Mezclado de los sectores que conforman dichos Nodos B. El tener identificado el origen de cada uno de los Códigos de Mezclado en su sector correspondiente, permite conocer la dirección en la que las antenas de cada uno de ellos están orientadas, el área que deben cubrir y las zonas en las que se estarían llevando a cabo los traspasos de llamada entre sectores - zonas de *Soft handover* SHO-. Algunos de los Códigos de Mezclado encontrados pertenecen a los siguientes Nodos B:

- Wilfrido con CM 181 y 182,
- Ticoman con CMs 245 y 246 y de
- Lindavista con CM 224, 225 y 226.

Con las mediciones realizadas, se verificó que el grado de sectorización que tienen los Nodos B en esta área es de tres, lo que significa que cada sector tiene un ángulo de cobertura de 120° . Como ejemplo, se observa en la figura 5.1 la configuración del Nodo B y la validación de códigos presentes correspondientes al nodo Lindavista.

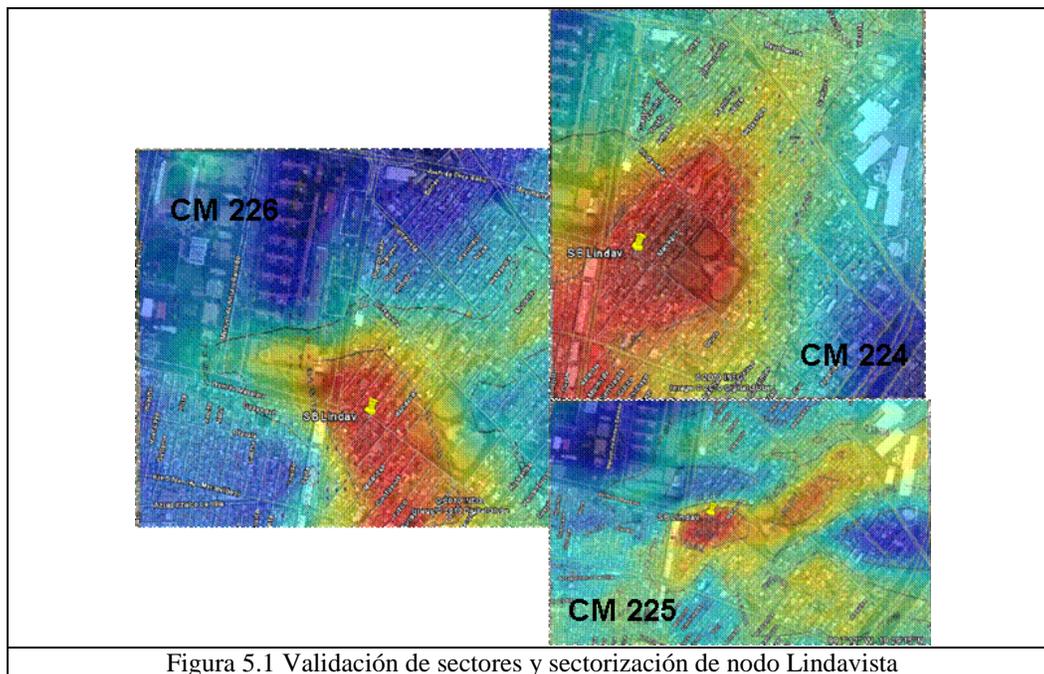


Figura 5.1 Validación de sectores y sectorización de nodo Lindavista

Al concluir las mediciones “sobre el aire” conforme al procedimiento indicado en la sección 3.2, se encontró una gran cantidad de Códigos de Mezclado, detectándose hasta 19 distintos. Esto representa un síntoma de alerta en la interfase de aire y en la Red de Acceso WCDMA, en el sentido de que provoca una “contaminación de señales piloto”, lo cual afecta el desempeño del sistema y la Calidad de Servicio experimentada por los usuarios.

- **Mapas de Cobertura y Fenómenos de Propagación.**

Este trabajo propone y utiliza una metodología para crear mapas de cobertura continuos a partir de muestras puntuales de las mediciones del Canal Piloto Común, estos mapas son útiles para tener una representación gráfica de cómo se comporta la señal de comunicaciones y hacer un análisis a partir de ellos; con base en lo anterior se puede comentar lo siguiente:

- Los Edificios que conforman el campus provocan una alta atenuación en la señal WCDMA, lo que hace que la cobertura del Sector con CM 226 se reduzca de manera considerable en comparación por ejemplo con el Código de Mezclado proveniente del Nodo B de Fortuna con CM 217 que se encuentra casi al doble de la distancia que el de Lindavista al ser analizado en su parte más lejana, es decir al Norte de la zona analizada.
- Los mapas de estimación de cobertura obtenidos en la Sección 4.1, en el que los seis Códigos de Mezclado son analizados de manera independiente, permiten conocer la cobertura que tienen cada uno de ellos, así como el comportamiento de la señal WCDMA en el área de estudio.

- **Fenómeno Multitrayectoria.**

Un descubrimiento importante que fue posible identificar al momento de analizar y obtener los mapas de estimación de cobertura, fue que en aquellos correspondientes a los Códigos de Mezclado 226, 246, 217 y 249, se observa que hay zonas en las que después de que la potencia de la señal se había atenuado en 4 dB –es decir, había cambiado de una escala de potencia a otra inferior-, existía nuevamente un incremento en la potencia de la señal hacia el rango o el valor de potencia inmediato anterior, como se observa en las figuras 4.3, 4.7, 4.9 y 4.13.

Este comportamiento de la señal en ciertas zonas se debe a las reflexiones o a las multi-trayectorias que sufre la señal, como consecuencia de factores ambientales que impiden la propagación de la onda de radio de manera directa entre la estación base y la terminal móvil, tales como obstáculos naturales, edificios, condiciones del terreno y el clima.

Aunque para un sistema de radio comunicación, el fenómeno de propagación de multi-trayectoria es uno de los principales problemas que enfrenta, para la tecnología WCDMA éste es considerado una ventaja dado que permite a la terminal móvil escuchar a la estación base aún en condiciones de sin Línea de Vista NLOS. Esto lo consigue mediante la implementación de un tipo especial de receptor en la estación móvil llamado RAKE; el

cual mejora el nivel de la señal recibida aprovechando las características de propagación multi-trayectoria de la onda de radio.

- **Verificación de la contaminación de señales piloto.**

En la sección 4.2 los seis Códigos de Mezclado son analizados en su conjunto con base en la escala de potencia definida en la tabla 3.5. A partir de la superposición de los mapas de estimación de cobertura de los Códigos de Mezclado que tienen el mismo rango de potencia, es posible identificar distintas zonas en las que existen traslapes de Códigos o de sectores pertenecientes a distintos Nodos B.

Al tener una zona con “contaminación de señales piloto”, difícilmente se podrán localizar zonas en las que no haya cobertura por los Nodos B, ya que en todo momento siempre existe al menos uno o varios Códigos de Mezclado presentes en toda el área analizada. Dicha situación, no significa que el sistema se encuentre en óptimas condiciones ya que el traslape de varios de los códigos provoca bloqueo, llamadas caídas y registros fallidos de las terminales móviles en la red.

Las consecuencias de sobrepasar la cantidad de Códigos presentes en el área provoca los siguientes efectos en la Red [6]:

- bajas velocidades de datos,
- baja capacidad y
- excesivos traspasos de llamada.

Por consiguiente, los puntos de la red en los que se debe poner atención para ubicar las causas que ocasionan que se excedan tales referencias para los Códigos de Mezclado son [6]: la inclinación de las antenas, el ajuste de la potencia de las señales piloto y los repetidores.

- **Cumplimiento de los parámetros de operación de una Red WCDMA.**

Con base en los valores de referencia mencionados en la sección 3.2.1.1, utilizados para la verificación de cobertura en presencia de sectores múltiples, se concluye lo siguiente:

- No se cumple la recomendación de que existan tres o menos de tres Códigos de Mezclado en la zona analizada (valores de potencia menores a -78 dBm) como se observa en las figuras 4.16, 4.17 y 4.18.

En la zona analizada, el sector del Nodo B de Lindavista con su Código de Mezclado 226 es el más cercano a la zona del campus Zacatenco, sin embargo el área en su mayor parte se ve afectada por la presencia de tal cantidad de Códigos de Mezclado que se traslapan con la cobertura del CM 226; excepto por una reducida franja de cobertura que tiene este Código en la zona sur cuando los niveles de potencia de este sector son mayores a -78 dBm como se observa en la figura 4.15.

6. Trabajos complementarios y/o futuros

- En el presente trabajo el análisis de cobertura realizado en los sectores de los Nodos B está restringido al área académica, deportiva, cultural y de esparcimiento del campus Zacatenco. Se recomienda un análisis de la cobertura total de los Nodos B más cercanos al Campus Zacatenco –Lindavista, Wilfrido, Ticoman y Torres Lindavista a fin de conocer las regiones de traslape entre sectores.
- A partir de la identificación de los distintos Códigos de Mezclado presentes en el área, se desprende un segundo estudio que permite efectuar el análisis del fenómeno de multi-trayectoria que sufre la señal debido a obstáculos tales como edificios, árboles, etc., presentes en la trayectoria de propagación de la onda electromagnética. De esta forma es posible conocer aquellas zonas que sufren de este efecto, así como aquellas en las que las terminales móviles o modems de acceso reciben la señal de forma directa.

7. Referencias

Libros Consultados

- [1] WCDMA for UMTS -Radio Access For Third Generation Mobile Communication-; Edited by Harri Holma and Antti Toskala; John Wiley & Sons, Ltd; ISBN 0 471 72051 8; Año 2000.
- [2] WCDMA – Requirements and Practical Design-; Edited by Rudolf Tanner and Jason Woodard; Ubinetics Ltd, UK; John Wiley & Sons, Ltd; ISBN 0-470-86177-0; Año 2004.
- [3] Testing UMTS -Assuring Conformance and Quality of UMTS User Equipment; Dan Fox; John Wiley & Sons, Ltd; ISBN 978-0-470-72442-2 (H/B); Año 2008.
- [4] TCP Performance over UMTS-HSDPA Systems; Mohamad Assaad; Djamal Zeglache; Auerbach Publications; ISBN-10: 0-8493-6838-3; Año 2007.
- [5] Practical Tips on WCDMA Measurements; Anritsu Application Note No 11410-00378, Rev. B 2008-09 www.us.anritsu.com
- [6] WCDMA/HSDPA Base Station Troubleshooting Guide; Anritsu Document No. 11410-00463, Rev. D 2101-01 www.us.anritsu.com
- [7] Spectrum Master MS2721B, MS2723B, MS2724B; User Guide; Part Number 10580-00175; Revision K ; October 2009; Copyright 2009 Anritsu Company www.us.anritsu.com
- [8] 3GPP Signal Analyzer for Anritsu’s RF and Microwave Handheld Instruments; Measurements Guide; Part Number 10580-00234; Revision D; October 2009; Copyright 2009 Anritsu Company www.us.anritsu.com
- [9] UMTS Networks, Architecture, Mobility and Services; Heikki Kaaranen, Ari Ahtiainen; John Wiley & Sons Ltd.; 2005, ISBN 0-470-01103-3

Internet

- [10] www.3gpp.org
- [11] TS 25.201 Physical layer – general description www.3GPP.org
- [12] <http://www.nbb.cornell.edu/neurobio/land/OldStudentProjects/cs490-94to95/clang/kriging.html>
- [13] www.esri.com
- [14] Ecosistemas Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente, ISSN: 1697-2473 España, A. Gallardo, “Geoadística” 2006 Ecosistemas, Septiembre-Diciembre, año/vol. XV, número 003 pp 49-59

- [15] Electronics Communications Committee UMTS Coverage Measurements
ECC Report 103
- [16] Zamudio-Castro, S. Vidal-Beltrán, J. Ponce-Rojas, J. Sosa-Pedroza,
"Experimental Analysis of a Node B Coverage Based on the CPICH and Ec/Io
Values", Wireless Engineering and Technology, Vol.2 No.1, 2011.
- [17] J. Ponce-Rojas, S. Vidal-Beltrán, M. Acevedo, M. Jimenez-Licea,
"A Geographic Information System Applied to Coverage Maps of 3G
Cellular Communications Networks," Journal of Geographic Information System
(JGIS), Vol.3, No.2, 2011.

Especificaciones técnicas 3GPP consultadas

UTRAN and UMTS core network signaling

- TS 25.211 Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels
(FDD)
- TS 25.212 Multiplexing and channel coding (FDD)
- TS 25.213 Spreading and modulation (FDD)
- TS 25.214 Physical layer procedures (FDD)
- TS 25.215 Physical layer measurements (FDD)
- TS 25.141 BS Conformance testing (FDD)

USIM specification

Test Related Specifications

- TS 34.108 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Common test
environments for user equipment (UE); Conformance testing
- TS 34.109 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Terminal logical test
interface; Special conformance testing functions
- TS 34.121 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); User equipment
(UE) conformance specification; Radio transmission and reception (FDD)
- TS 34.122 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Terminal
conformance specification; Radio transmission and reception (TDD)
- TS 34.123 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); User equipment
(UE) conformance specification; Part 1 Protocol conformance specification
- TS 34.124 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Electromagnetic
compatibility (EMC) requirements
- TS 34.171 Terminal conformance specification; Assisted Global Positioning System (A-
GPS); Frequency Division Duplex (FDD)

Acrónimos

3G	Third Generation
3GPP	3G Partnership Project
3GPP2	3G Partnership Project
ACCH	Associated Control Channel
AICH	Acquisition Indicator Channel
AMC	Adaptive Modulation and Coding
AP-AICH	Access Preamble-AICH
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BoD	Base on Demand
CCCH	Common Control Channel
CCTrCH	Coded Composite Transport Channel
CD/CA-ICH	Collision Detection/Channel Assignment Indication Channel
CDMA	Code Division Multiple Access
CDMA 2000	CDMA 2000
Cell ID	Cell Identity
CDP	Code Domain Power
CN	Core Network
CPCH	Common Packet Channel
CPICH	Common Pilot Channel
CS	Circuit Switching
CSICH	CPCH Status Indication Channel
CRNC	Controlling RNC
CTCH	Control Traffic Channel
CWTS	Estándar de Telecomunicación Inalámbrica de China
DANL	Display Average Noise Level
DCH	Dedicated Channel
DCCH	Dedicated Control Channel
DL	Down Link
DPCCCH	Dedicated Physical Control Channel
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel
DRNC	Drift RNC
DSCDMA	Direct Sequence Code Division Multiple Access
DSCH	Downlink Shared Channel
DTCH	Dedicated Traffic Channel
E_c/I_o	Energy per chip to Interference
ETSI	European Telecommunication Standard Institute
FACH	Forward Access Channel
FDD	Frequency Division Duplex
GIS	Geographic Information System
GSM	Sistema Global para Comunicaciones Móviles
GMSC	Gateway MSC
GPS	Global Positioning System
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HLR	Home Location Register
HS-SCCH	High Speed-Shared Control Channel
HS-DSCH	High Speed – DSCH
HLR	Home Location Register
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
IMT-2000	Telecomunicaciones Móvil Internacional 2000
IMS	IP Multimedia Subsystem
IP	Internet Protocol

Acrónimos

IS-95	Interim Standard 1995
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	Unión de Telecomunicaciones Internacional
KPI	Indicadores de Desempeño Clave
LOS	Line of Sight
LSQ	Least Square
MAC	Medium Access Control
MCCH	Multimedia Broadcast/Multicast Service point to multipoint Control Channel
ME	Mobile Equipment
MGW	Media Gateway
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
MSCH	Multimedia Broadcast/Multicast Service point to multipoint Scheduling Channel
MST	Master Software Tools
MTCH	Multimedia Broadcast/Multicast Service point to multipoint Traffic Channel
ME	Mobile Equipment
NLOS	Non Line of Sight
O&M	Operation and Maintenance
OTA	Over the Air
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factors
P-CCPCH	Primary-Common Control Physical Channel
P-CPICH	Primary CPICH
PAR	Peak Average Ratio
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PD	Pilot Dominance
PN	Pseudo Noise
PCCH	Paging Control Channel
PCH	Paging Channel
PD	Pilot Dominance
PDC	Pacific Digital Cellular
PhCH	Physical Channel
PICH	Paging Indicator Channel
PLMN	Public Land Mobile Network
PS	Packet Switching
PSTN	Public Switched Telephone Network
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
RANAP	RAN Application Part
RCH	Random Channel
RLB	Radio Link Budget
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Resource Management
RSCP	Received Signal Code Power
S-CCPCH	Secondary Common Control Physical Channel
SC	Scrambling Code
SCH	Synchronization Channel
SCCH	Shared Control Channel
SF	Spreading Factor

Acrónimos.

SHO	Soft Handover
SNR	Signal to Noise Ratio
SRNC	Serving RNC
STTD	Space Time Transmit Diversity
T1	Standarisation Committee T1- Telecommunications/US
TD/CDMA	Time Division CDMA
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo
TE	Terminal Equipment
TFCI	Transport Format Combination Indicator
TFI	Transport Format Indicator
TRCH	Traffic Channel
TRX	Transmitter-Receiver
TTA	Asociación de Tecnología de Telecomunicaciones
TTC	Comité de Tecnología de Telecomunicación
TTC	Telecommunications Technology Committee
TTI	Transmit Time Interval
TTP	Traffic Termination Points
UARFCN	UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number
UE	User Equipment
UL	Up Link
UMTS	Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal
USIM	Universal Subscriber Identity Module
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VoIP	Voice over IP
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access

8. Anexos

Anexo 1. Programa de salida para la extracción de valores

El siguiente programa es utilizado para llevar a cabo la extracción de la información de interés de cada una de las mediciones realizadas con el instrumento de medición MS2721B. Los archivos fuente utilizados por este programa son obtenidos de cada una de las mediciones mediante el Software de Administración Master Software Tools MST del instrumento, los cuales tienen un formato y extensión del tipo *.csv.

La información de **Longitud y Latitud** y los valores de **CPICH, E_c/I_0 , E_c , el número de Código de Mezclado y la Dominancia del Piloto**, son extraídos de cada uno de los 1591 archivos y consolidados en un archivo de salida único como se muestra en la Tabla 3.4.

```
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
#include <iostream.h>

void main()
{

    FILE *archSalida;
    FILE *archEntrada;
    FILE *nombres;

    int j;
    int i;
    int n;
    int m;
    int k;
    int i1;
    int n1;
    int totalArchivos;
    int control;

    char linea [81];
    char cadena[10];
    char cadenaArch[32];
    char cadLow[10];
    char cadLan[10];

    nombres = fopen("Fuente.TXT","r");
    archSalida = fopen("Salida-Ivan-Jazmin.TXT","w");
    if (archSalida == NULL)
        printf("Error");
```

```

printf("\n Escribe el numero de archivos ");
scanf("%d",&totalArchivos);
printf("\n\n");

for(control = 1; control <= totalArchivos;control++)

// Ciclo general de apertura de archivos
{

    fgets(cadenaArch,25,nombres);
    printf("\n Lectura del FUENTE Archivo =%s",cadenaArch);
//  getch();

    archEntrada = fopen(cadenaArch,"r");
    printf("\n Nombre del archivo a abrir Archivo =%s \n",cadenaArch);
//  getch();
//    getch();

    if (archEntrada == NULL)
    {
        printf("\n No encontro el Archivo \t Valor de control = %d ",control);
    }
    else
    {
        cout << "apertura correcta";
    }

    for (j = 1; j <= 9; j++)
    {
        fgets(linea,50,archEntrada);
    }

    m = 19;
    i1 = 0;
/*  for(n = 0;n < 50;n++)
    {
        printf("\n Rastreo de linea caracter ZZ  %c numero = %d",linea[n],linea[n]);

    }
    getch(); */
    while(linea[m] != 9)
    {
//    printf("\n Rastreo linea CHARACTER %c = Valor ASCII %d",linea[m],linea[m]);
        cadLow[i1] = linea[m];
//    printf(" Rastreo CHARACTER cadLow de m = %c ",cadLow[i1]);
        m++;

```

```

    i1++;
}
printf("\n");
for(n1 = 0;n1 < i1;n1++)

    {
        fprintf(archSalida,"%c", cadLow[n1]);

    }
fprintf(archSalida," ");
//  getch();
    fgets(linea,50,archEntrada);
i = 18;

while(linea[i] != 10)
    {
        cadLan[i- 18] = linea[i];
        i++;
    }
cadLan[i-18]= 0;

for (j = 1; j <= 119; j++)
{
    fgets(linea,50,archEntrada);
}

fgets(linea,50,archEntrada);
// printf("\nBusqueda de datos linea %s\n",linea);
// getch();
fgets(linea,70,archEntrada);
// printf("Busqueda de matriz datos linea\n %s",linea);

n = 0;
do{

    if(linea[18] != '-')
    {
        for(n1 = 0;n1 < i1;n1++)

            {
//         printf("%c", cadLow[n1]);

            }

        for(n1 = 0;n1 < i1;n1++)

```

```
{
//          printf("\n Decimal = %d Caracter =%c Indice = %d",
cadLow[n1],cadLow[n1],n1);

}
//  printf("\n por caracter");
fprintf(archSalida,"%s ",cadLan);
k = 11;

while (linea [k] != '\0')
{
//  printf("\n linea[%d]= %c",k, linea[k] );
fprintf(archSalida,"%c",linea[k] );
k++;

}
//  fprintf(archSalida,"\n");
//  printf("\n \n Busqueda de NUEVA linea\n %s Valor de linea 47 %d",linea,
linea[47]); .
//  getch();

} // Cierre del IF linea =
fgets(linea,70,archEntrada);

}while (linea[0] != '<');

printf("\n");
getch();
fgets(cadenaArch,17,nombres);
//  fprintf(archSalida,"\n");
fclose(archEntrada);
}

//Fin del programa
fclose(nombres);
fclose(archSalida);
//getch();
}
```

Spectrum Master™

High Performance Handheld Spectrum Analyzer

MS2721B
9 kHz to 7.1 GHz

Introduction

Anritsu's high performance handheld spectrum analyzer provides the wireless professional the performance needed for the most demanding measurements in harsh RF and physical environments. Whether it is for spectrum monitoring, broadcast proofing, interference analysis, RF and microwave measurements, regulatory compliance, or Wi-Fi and wireless network measurements, the Spectrum Master is the ideal instrument to making fast and reliable measurements.

Spectrum and Interference Analyzer Highlights

- Measure: Occupied Bandwidth, Channel Power, ACPR, C/I
- Interference Analyzer: Spectrogram, Signal Strength, RSSI
- Dynamic Range: > 101 dB in 1 Hz RBW
- DANL: -163 dBm in 1 Hz RBW
- Phase Noise: -95 dBc/Hz @ 10 kHz offset at 1 GHz
- Frequency Accuracy: ± 25 ppb with GPS On
- 1 Hz to 3 MHz Resolution Bandwidth (RBW)
- Traces: Normal, Max Hold, Min Hold, Average, # of Averages
- Detectors: Peak, Negative, Sample, Quasi-peak, and true RMS
- Markers: 6, each with a Delta Marker, or 1 Reference with 6 Deltas
- Limit Lines: up to 40 segments with one-button envelope creation
- Trace Save-on-Event: crossing limit line or sweep complete

Capabilities and Functional Highlights

- LTE, GSM/EDGE
- W-CDMA/HSDPA
- TD-SCDMA/HSDPA
- CDMA, EV-DO
- WiMAX - Fixed, Mobile
- DVB-T/H, SFN, BER
- ISDB-T, SFN
- AM/FM/SSB Demodulator
- Tracking Generator
- Gated Sweep
- High Accuracy Power Meter
- 4, 6, 8, 18 GHz USB Sensors
- Channel Scanner
- 8.4" Display
- Internal Preamplifier standard
- < 5 minute warm-up time
- 2.3 hour battery operation time
- Ethernet/USB Data Transfer
- MST Remote Access Tool
- GPS tagging of stored traces



Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer
Handheld Size: 315 mm x 211 mm x 77 mm (12.4 in x 8.3 in x 3.0 in), Lightweight: 3.1 kg (6.9 lbs)

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications



Spectrum Analyzer

Measurements

Smart Measurements	Field Strength (uses antenna calibration tables to measure dBm/m ² or dBmV/m) Occupied Bandwidth (measures 99% to 1% power channel of a signal) Channel Power (measures the total power in a specified bandwidth) ACPR (adjacent channel power ratio) AM/FM/SSB Demodulation (wide/narrow FM, upper/lower SSB), (audio out only) C/I (carrier-to-interference ratio) Emission Mask (recall limit lines as emission mask)
--------------------	---

Setup Parameters

Frequency	Center/Start/Stop, Span, Frequency Step, Signal Standard, Channel #
Amplitude	Reference Level (RL), Scale, Attenuation Auto/Level, RL Offset, Pre-Amp On/Off, Detection
Span	Span, Span Up/Down (1-2-5), Full Span, Zero Span, Last Span
Bandwidth	RBW, Auto RBW, VBW, Auto VBW, RBW/VBW, Span/RBW
File	Save, Recall, Delete, Directory Management
Save/Recall	Setups, Measurements, Limit Lines, Screen Shots Jpeg (save only), Save-on-Event
Save-on-Event	Crossing Limit Line, Sweep Complete, Save-then-Stop, Clear All
Delete	Selected File, All Measurements, All Mode Files, All Content
Directory Management	Sort Method (Name/Type/Date), Ascend/Descend, Internal/USB CF, Copy
Application Options	Impedance (50 Ω, 75 Ω, Other)

Sweep Functions

Sweep	Single/Continuous, Manual Trigger, Reset, Detection, Minimum Sweep Time, Trigger Type, Gated Sweep (see Option 0090)
Detection	Peak, RMS, Negative, Sample, Quasi-peak
Triggers	Free Run, External, Video, Change Position, Manual

Trace Functions

Traces	Up to three Traces (A, B, C), View/Blank, Write/Hold, Trace A/B/C Operations
Trace A Operations	Normal, Max Hold, Min Hold, Average, # of Averages, (always the live trace)
Trace B Operations	A → B, B ← → C, Max Hold, Min Hold
Trace C Operations	A → C, B ← → C, Max Hold, Min Hold, A - B → C, B - A → C, Relative Reference (dB), Scale

Marker Functions

Markers	Markers 1-6 each with a Delta Marker, or Marker 1 Reference with Six Delta Markers, Marker Table (On/Off), All Markers Off
Marker Types	Style (Fixed/Tracking), Noise Marker, Frequency Counter Marker
Marker Auto-Position	Peak Search, Next Peak (Right/Left), Peak Threshold %, Set Marker to Channel, Marker Frequency to Center, Delta Marker to Span, Marker to Reference Level
Marker Table	1-6 markers frequency and amplitude plus delta markers frequency offset and amplitude

Limit Line Functions

Limit Lines	Upper/Lower, On/Off, Edit, Move, Envelope, Advanced, Limit Alarm, Default Limit
Limit Line Edit	Frequency, Amplitude, Add Point, Add Vertical, Delete Point, Next Point Left/Right
Limit Line Move	To Current Center Frequency, By dB or Hz, To Marker 1, Offset from Marker 1
Limit Line Envelope	Create Envelope, Update Amplitude, Number of Points (41), Offset, Shape Square/Slope
Limit Line Advanced	Type (Absolute/Relative), Mirror, Save/Recall

Frequency

Frequency Range	9 kHz to 7.1 GHz (usable to 0 Hz)
Tuning Resolution	1 Hz
Frequency Reference	Aging: ± 1.0 ppm/10 years Accuracy: ± 0.3 ppm (25 °C ± 25 °C) + aging
Frequency Span	10 Hz to 7.1 GHz including zero span
Span Accuracy	Same as frequency reference accuracy
Sweep Time	10 μs to 600 seconds in zero span, autoset in non-zero span
Sweep Time Accuracy	± 2% in zero span

Bandwidth

Resolution Bandwidth (RBW)	1 Hz to 3 MHz in 1-3 sequence ±10% (1 MHz max in zero-span) (-3 dB bandwidth)
Video Bandwidth (VBW)	1 Hz to 3 MHz in 1-3 sequence (-3 dB bandwidth)
RBW with Quasi-Peak Detection	200 Hz, 9 KHz, 120 kHz (-6 dB bandwidth)
VBW with Quasi-Peak Detection	Auto VBW is On, RBW/VBW = 1

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications



Spectrum Analyzer (continued)

Spectral Purity

SSB Phase Noise	-100 dBc/Hz @ 10, 20 and 30 kHz offset from carrier -102 dBc/Hz @ 100 kHz offset from carrier
-----------------	--

Amplitude Ranges

Dynamic Range	> 95 dB at 600 MHz, 2/3 (TOI-DANL) in 1 Hz RBW > 96 dB at 3.5 GHz, 2/3 (TOI-DANL) in 1 Hz RBW
Measurement Range	DANL to +30 dBm
Display Range	1 to 15 dB/div in 1 dB steps, ten divisions displayed
Reference Level Range	-120 dBm to +30 dBm
Attenuator Resolution	0 to 65 dB, 5.0 dB steps
Amplitude Units	Log Scale Modes: dBm, dBV, dBmV, dBµV Linear Scale Modes: nV, µV, mV, V, kV, nW, µW, mW, W, kW

Amplitude Accuracy (Power level > -50 dBm)

(Input attenuation)	Preamp Off (≤ 35 dB)	Preamp Off (40 to 55 dB)	Preamp Off (60 to 65 dB)	Preamp On (0 or 10 dB)
9 kHz to ≤10 MHz	± 1.50 dB	± 1.50 dB	± 1.50 dB	—
100 kHz to 4 GHz	—	—	—	± 1.50 dB
>10 MHz to 4 GHz	± 1.25 dB	± 1.75 dB	± 1.75 dB	—
>4 GHz to 6.5 GHz	—	± 1.75 dB	± 1.75 dB	—
>4 GHz to 7.1 GHz	± 1.75 dB	—	—	± 1.75 dB
>6.5 GHz to 7.1 GHz	—	± 2.00 dB	± 3.00 dB	—

Displayed Average Noise Level (DANL)

(DANL in 1 Hz RBW, 0 dB attenuation)	Preamp Off (Reference level -20 dBm)		Preamp On (Reference level -50 dBm)	
	Maximum	Typical	Maximum	Typical
10 MHz to 1 GHz	-137 dBm	-140 dBm	-161 dBm	-163 dBm
> 1 GHz to 2.2 GHz	-133 dBm	-136 dBm	-159 dBm	-160 dBm
> 2.2 GHz to 2.8 GHz	-126 dBm	-130 dBm	-153 dBm	-156 dBm
> 2.8 GHz to 4 GHz	-136 dBm	-139 dBm	-159 dBm	-160 dBm
> 4 GHz to 7.1 GHz	-127 dBm	-131 dBm	-154 dBm	-158 dBm

Spurs

Residual Spurs	Preamp On (RF input terminated, 0 dB input attenuation) -100 dBm, 10 MHz to 7.1 GHz Preamp Off (RF input terminated, 0 dB input attenuation) -90 dBm, 100 kHz to 3.2 GHz -84 dBm, > 3.2 GHz to 7.1 GHz
Exceptions	-85 dBm @ 250, 300, 350 MHz -80 dBm, -90 dBm typical @ ≈ 4010 MHz -70 dBm, -83 dBc typical @ ≈ 5084 MHz -75 dBm, -87 dBm typical @ ≈ 5894 MHz -80 dBm, -92 dBm typical @ ≈ 7028 MHz
Input-Related Spurious	(0 dB attenuation, -30 dBm input, span < 1.7 GHz, carrier offset > 4.5 MHz) -60 dBc, -70 dBc typical
Exceptions	-38 dBc, -48 dBc typical @ 1674 MHz

Third-Order Intercept (TOI) (-20 dBm tones 100 kHz apart, -20 dBm Ref level, 0 dB input attenuation, preamp Off)

600 MHz	+7 dBm
3.5 GHz	+9.5 dBm
50 MHz to 300 MHz	> +8 dBm typical
> 300 MHz to 2.2 GHz	> +10 dBm typical
> 2.2 GHz to 2.8 GHz	> +15 dBm typical
> 2.8 GHz to 4 GHz	> +10 dBm typical
> 4 GHz to 7.1 GHz	> +13 dBm typical

Second Harmonic Distortion (0 dB input attenuation, -30 dBm input)

50 MHz to 1.4 GHz	-50 dBc
> 1.4 GHz to 2 GHz	-70 dBc
> 2 GHz	-80 dBc

VSWR

> 10 dB input attenuation	2.0:1 max, 1.5:1 typical
---------------------------	--------------------------

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications

GPS Receiver Option (Option 0031) (includes antenna)

Setup	On/Off, GPS Info
GPS Time/Location Indicator	Time, Latitude, Longitude and Altitude on display Time, Latitude, Longitude and Altitude with trace storage
High Frequency Accuracy when GPS Antenna is connected	Spectrum Analyzer, Interference Analyzer, Signal Analyzer < ± 25 ppb with GPS On, 3 minutes after satellite lock in selected mode
GPS Lock – after antenna is disconnected	< ± 50 ppb for 3 days, 0 °C to 50 °C ambient temperature
Connector	BNC, female, reverse polarity



High Accuracy Power Meter (Option 0019) (Requires external USB Power Sensor(s))

Amplitude	Maximum, Minimum, Offset, Relative On/Off, Units, Auto Scale
Average	# of Running Averages, Max Hold
Zero/Cal	Zero On/Off, Cal Factor (Center Frequency, Signal Standard)
Limits	Limit On/Off, Limit Upper/Lower

Power Sensor Model	PSN50	MA24104A	MA24106A	MA24108/18/26A
Description	High Accuracy RF Power Sensor	Inline High Power Sensor	High Accuracy RF Power Sensor	Microwave USB Power Sensor
Frequency Range	50 MHz to 6 GHz	600 MHz to 4 GHz	50 MHz to 6 GHz	10 MHz to 8 GHz (MA24108A) 10 MHz to 18 GHz (MA24118A) 10 MHz to 26 GHz (MA24126A)
Connector	Type N(m), 50 Ω	Type N(m), 50 Ω	Type N(m), 50 Ω	Type N(m), 50 Ω (MA24108/18A) Type K(m), 50 Ω (MA24126A)
Dynamic Range	-30 dBm to +20 dBm (.001 mW to 100 mW)	+3 dBm to +51.76 dBm (2 mW to 150 W)	-40 dBm to +23 dBm (0.1 μW to 200 mW)	-40 dBm to +20 dBm (0.1 μW to 100 mW)
VBW	100 Hz	100 Hz	100 Hz	50 kHz
Measurand	True-RMS	True-RMS	True-RMS	True-RMS, Slot Power, Burst Average Power
Measurement Uncertainty	± 0.16 dB ¹	± 0.17 dB ²	± 0.16 dB ¹	± 0.18 dB ³
Datasheet (for complete specifications)	11410-00414	11410-00483	11410-00424	11410-00504

- Notes:
- 1) Total RSS measurement uncertainty (0 °C to 50 °C) for power measurements of a CW signal greater than -20 dBm with zero mismatch errors.
 - 2) Expanded uncertainty with K=2 for power measurements of a CW signal greater than +20 dBm with a matched load. Measurement results referenced to the input side of the sensor.
 - 3) Expanded uncertainty with K=2 for power measurements of a CW signal greater than -20 dBm with zero mismatch errors.

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications



Interference Analyzer (Option 0025)

Measurements	Spectrum Field Strength Occupied Bandwidth Channel Power Adjacent Channel Power (ACPR) AM/FM/SSB Demodulation (Wide/Narrow FM, Upper/Lower SSB), (audio out only) Carrier-to-Interference ratio (C/I) Spectrogram (Collect data up to one week) Signal Strength (Gives visual and aural indication of signal strength) Received Signal Strength Indicator (RSSI) (collect data up to one week) Gives visual and aural indication of signal strength Signal ID (up to 12 signals) Center Frequency Bandwidth Signal Type (FM, GSM, W-CDMA, CDMA, Wi-Fi) Closest Channel Number Number of Carriers
Application Options	Signal-to-Noise Ratio (SNR) >10 dB Impedance (50 Ω , 75 Ω , Other)



Channel Scanner (Option 0027)

Number of Channels	1 to 20 Channels (Power Levels)
Measurements	Graph/Table, Max Hold (On/5 sec/Off), Frequency/Channel, Current/Maximum, Dual Color
Scanner	Scan Channels, Scan Frequencies, Scan Customer List, Scan Script Master™
Amplitude	Reference Level, Scale
Custom Scan	Signal Standard, Channel, # of Channels, Channel Step Size, Custom Scan
Application Options	Impedance (50 Ω , 75 Ω , Other)

Gated Sweep (Option 0090)

Mode	Spectrum Analyzer, Sweep
Trigger	External TTL
Setup	Gated Sweep (On/Off) Gate Polarity (Rising, Falling) Gate Delay (0 to 65 ms typical) Gate Length (1 μ s to 65 ms typical) Zero Span Time

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications

Tracking Generator Option (Option 0020)

Setup Parameters

Measure Set-up	Off/On, Output Power, Reset Sweep, S21 Insertion loss, Abs Max, Min, Avg (On/Off)
S21 Insertion Loss Set-up	Normalize (Off/On), Rel Reference, Rel Scale, S21 Max, Min, Avg (Off, On), S21 RL Offset
Frequency Range	450 kHz to 7.1 GHz (usable to 100 kHz)
Frequency Resolution	1 Hz
Frequency Accuracy	± 0.3 ppm (25 °C ±25 °C) + aging
Output Power	-40 to 0 dBm
Step Size	0.1 dB nominal
Level Accuracy	± 1.5 dB max (450 kHz to 7.1 GHz, 15 °C to 35 °C)
Zero Span Behavior	CW Output
Output Connector	Type N female, 50 Ω
Damage Level	+ 23 dBm ± 50 VDC (limited dv/dt) 2 kV ESD

DVB-T/H, SFN, BER (Options 0064, 0078, 0057)

See Technical Data Sheet 11410-00436

ISDB-T, SFN (Options 0030, 0032)

See Technical Data Sheet 11410-00436

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications



LTE Signal Analyzers (Options 0541, 0542, 0546)

Measurements			
RF (Option 0541)	Modulation (Option 0542)	Over-the-Air (OTA) (Option 0546)	Pass/Fail (User Editable)
Channel Spectrum Channel Power Occupied Bandwidth ACPR RF Summary	Constellation Reference Signal Power Sync Signal Power EVM Frequency Error Carrier Frequency Cell ID Sector ID Group ID Control Channel Power RS P-SS S-SS PBCH PCFICH Modulation Summary	Synch Signal Power (Six Strongest) Power Cell ID Sector ID Group ID Dominance	Pass Fail All Pass/Fail RF Pass Fail Demod Measurements Channel Power Occupied Bandwidth ACLR Frequency Error Carrier Frequency Dominance EVM (peak) EVM (rms) RS Power SS Power P-SS Power S-SS Power PBCH Power PCFICH Power Cell ID Group ID Sector ID
Setup Parameters			
	Bandwidth	10 MHz	
	Span	1.4, 3, 5, 10, 15, 20, 30 MHz	
	Frame Length	2.5, 5.0, 10.0 msec	
	Frequency	Center, Signal Standard, Channel #, Closest Channel, Decrement/Increment Channel	
	Amplitude	Scale/Division, Power Offset, Auto Range, Adjust Range	
	Sweep	Single/Continuous, Trigger Sweep	
	Save/Recall	Setup, Measurement, Screen Shot (save only), to Internal/External Memory	
	Measurement Summary Screens	Overall Measurements, RF Measurements, Signal Quality Measurements	
RF Measurements (Option 0541)			
	RF Channel Power Accuracy	± 1.5 dB, ± 1.0 dB typical, (RF input -50 dBm to +10 dBm)	
Modulation (Option 0542)			
	Frequency Error	± 10 Hz + time base error, 99% confidence level	
	Residual EVM (rms)	2.5% typical (E-UTRA Test Model 3.1) (RF Input -50 dBm to +10 dBm)	
Over-the-Air (OTA) Measurements (Option 0546)			
	Scanner	Six strongest Sync Signals	
	Auto Save	Yes	
	GPS Tagging and Logging	Yes	

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications



GSM/GPRS/EDGE Signal Analyzers (Options 0040, 0041)

Measurements

RF (Option 0040)	Demodulation (Option 0041)	Over-the-Air (OTA)	Pass/Fail (User Editable)
Channel Spectrum Channel Power Occupied Bandwidth Burst Power Average Burst Power Frequency Error Modulation Type BSIC (NCC, BCC) Multi-channel Spectrum Power vs. Time (Frame/Slot) Channel Power Occupied Bandwidth Burst Power Average Burst Power Frequency Error Modulation Type BSIC (NCC, BCC)	Phase Error EVM Origin Offset C/I Modulation Type Magnitude Error BSIC (NCC, BCC)	There are no additional OTA Measurements. RF Measurements and Demodulation can be made OTA	Measurements Channel Power Occupied Bandwidth Burst Power Average Burst power Frequency Error Phase Error EVM Origin Offset C/I Magnitude Error Script Master™

Setup Parameters

GSM/EDGE Select	Auto, GSM, EDGE
Frequency	Center, Signal Standard, Channel #, Closest Channel, Decrement/Increment Channel
Amplitude	Power Offset, Auto Range, Adjust Range
Sweep	Single/Continuous, Trigger Sweep
Save/Recall	Setup, Measurement, Screen Shot (save only), to Internal/External Memory
Measurement Summary Screen	Overall Measurements

RF Measurements (Option 0040)

Frequency Error	± 10 Hz + time base error, 99% confidence level
Occupied Bandwidth	Bandwidth within which 99% of the power transmitted on a single channel lies
Burst Power Error	± 1.5 dB, ± 1 dB typical, (-50 dBm to +20 dBm)

Demodulation (Option 0041)

GSMK Modulation Quality (RMS Phase) Measurement Accuracy	± 1 deg
Residual Error (GSMK)	1 deg
8 PSK Modulation Quality (EVM) Measurement Accuracy	± 1.5%
Residual Error (8 PSK)	2.5%

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications



W-CDMA/HSDPA Signal Analyzers (Options 0044, 0045 or 0065, 0035)

Measurements

RF (Option 0044)	Demodulation (Option 0045 or 0065)	Over-the-Air (OTA) (Option 0035)	Pass/Fail (User Editable)
Band Spectrum Channel Spectrum Channel Power Occupied Bandwidth Peak-to-Average Power Spectral Emission Mask Single carrier ACLR Multi-carrier ACLR RF Summary	Code Domain Power Graph P-CPICH Power Channel Power Noise Floor EVM Carrier Feed Through Peak Code Domain Error Carrier Frequency Frequency Error Control Channel Power Abs/Rel/Delta Power CPICH, P-CCPCH S-CCPCH, PICH P-SCH, S-SCH HSDPA Power vs. Time Constellation Code Domain Power Table Code, Status EVM, Modulation Type Power, Code Utilization Power Amplifier Capacity Codogram Modulation Summary	Scrambling Code Scanner (Six) Scrambling Codes CPICH E_c/I_0 Ec Pilot Dominance OTA Total Power Multipath Scanner (Six) Six Multipaths Tau Distance RSCP Relative Power Multipath Power	Measurements Max Output Power Frequency Error EVM CPICH Occupied Bandwidth Spectral Mask ACLR PCDE P-CCPCH S-CCPCH Code Spread 3 PICH Code 128 Script Master™ Test Models 1 (16), (32), (64) 2 3 (16), (32) 4 (+CPICH), (-CIPCH) 5 (2 HS), (4 HS), (8 HS)

Setup Parameters

Scrambling Code, Threshold	Auto, Manual
User Selectable	Scrambling Code, S-CCPCH Spread, S-CCPCH Code, PICH Code, Threshold, Max Amp Power, CPICH Power, Frequency Error Average
Maximum Spreading Factor	256, 512
Frequency	Center, Signal Standard, Channel #, Closest Channel, Decrement/Increment Channel
Amplitude	Scale/Division, Power Offset, Auto Range, Adjust Range, Units (dBm/Watts)
Marker	Six Markers, Table On/Off
Sweep	Single/Continuous, Trigger Sweep
Save/Recall	Setup, Measurement, Screen Shot (save only), to Internal/External Memory
Measurement Summary Screens	Overall Measurements, RF Measurements, Signal Quality Measurements

RF Measurements (Option 0044)

RF Channel	± 1.25 dB, ± 0.7 dB typical, (temperature range 15 °C to 35 °C)
Occupied Bandwidth Accuracy	± 100 kHz
Adjacent Channel Leakage Ratio (ACLR)	-54 dB/-59 dB ± 0.8 dB @ 5 MHz/10 MHz offset, typical, Bands I – VI, VIII – XIV, XVII -54 dB/-57 dB ± 1.0 dB @ 5 MHz/10 MHz offset, typical, Band VII

Demodulation (Option 0045 for W-CDMA only or 0065 for W-CDMA and HSDPA)

W-CDMA Modulations	QPSK, QPSK-DTX (Codecs: AMR 4.75, 5.9, 7.4, 12.2 kbps, DTX 7.4, 12.2 kbps)
HSDPA Modulations	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
EVM Accuracy	$\pm 2.5\%$, $6\% \leq \text{EVM} \leq 25\%$
Residual EVM	2.5% typical
Code Domain Power	± 0.5 dB for code channel power > -25 dB, 16, 32, 64 DCPH (test model 1), 16, 32 DCPH (test model 2, 3)
CPICH (dBm) Accuracy	± 0.8 dB typical

Over-the-Air (OTA) Measurements (Option 0035)

Scrambling Code Scanner	Six strongest Scrambling Codes
Multipath Scanner	Six multipaths' power relative to strongest pilot

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications



cdmaOne/CDMA2000 1X Signal Analyzers (Option 0042, 0043, 0033)

Measurements

RF (Option 0042)	Demodulation (Option 43)	Over-the-Air (OTA) (Option 33)	Pass/Fail (User Editable)
Channel Spectrum Channel Power Occupied Bandwidth Peak-to-Average Power Spectral Emission Mask Multi-carrier ACPR RF Summary	Code Domain Power Graph Pilot Power Channel Power Noise Floor Rho Carrier Feed Through Tau RMS Phase Error Frequency Error Abs/Rel/ Power Pilot Page Sync Q Page Code Domain Power Table Code Status Power Multiple Codes Code Utilization Modulation Summary	Pilot Scanner (Nine) PN E_C/I_O Tau Pilot Power Channel Power Pilot Dominance Multipath Scanner (Six) E_C/I_O Tau Channel Power Multipath Limit Test – 10 Tests Averaged Rho Adjusted Rho Multipath Pilot Dominance Pilot Power Pass/Fail Status	Measurements Channel Power Occupied Bandwidth Peak-to-Average Power Spectral Mask Test Frequency Error Channel Frequency Frequency error Pilot Power Noise Floor Rho Carrier Feed Through Tau RMS Phase Error Code Utilization Measured PN Pilot Dominance Multipath Power

Setup Parameters

PN Setup	PN Trigger (No Trigger, GPS, External), PN Search Type (Auto, Manual), PN Offset
Walsh Codes	64, 128
Measurement Speed	Fast, Normal, Slow
External Trigger Polarity	Rising, Falling
Number of Carriers	1 to 5
Carrier Bandwidth	1.23, 1.24, 1.25 MHz
Frequency	Center, Signal Standard, Channel #, Closest Channel, Decrement/Increment Channel
Amplitude	Scale/Division, Power Offset, Auto Range, Adjust Range, Units (dBm/Watts)
Sweep	Single/Continuous, Trigger Sweep
Save/Recall	Setup, Measurement, Screen Shot (save only), to Internal/External Memory
Measurement Summary Screens	Overall Measurements, RF Measurements, Signal Quality Measurements

RF Measurements (Option 0042)

RF Channel Power Accuracy	± 1.5 dB, ± 1.0 dB typical, (RF input -50 dBm to +20 dBm)
---------------------------	---

Demodulation (Option 0043)

Frequency Error	± 10 Hz + time base error, 99% confidence level (in slow mode)
Rho Accuracy	± 0.005 , for Rho > 0.9
Residual Rho	> 0.995, typical, > 0.99 maximum, (RF input -50 dBm to +20 dBm)
PN Offset	1 x 64 chips
Pilot Power Accuracy	± 1.0 dB typical, relative to channel power
Tau	± 0.5 μ s typical, ± 1.0 μ s maximum

Over-the-Air (OTA) Measurements (Option 0033)

Pilot Scanner	Nine strongest pilots
Multipath Scanner	Six multipaths' power relative to strongest pilot
Limit Test	Average of ten tests compared to limit

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications



CDMA2000 1xEV-DO Signal Analyzers (Option 0062, 0063, 0034)

Measurements			
RF (Option 0062)	Demodulation (Option 0063)	Over-the-Air (OTA) (Option 0034)	Pass/Fail (User Editable)
Channel Spectrum Channel Power Occupied Bandwidth Peak-to-Average Power Power vs. Time Pilot & MAC Power Channel Power Frequency Error Idle Activity On/Off Ratio Spectral Emission Mask Multi-carrier ACPR RF Summary	MAC Code Domain Power Graph Pilot & MAC Power Channel Power Frequency Error Rho Pilot Rho Overall Data Modulation Noise Floor MAC Code Domain Power Table Code Status Power Code Utilization Data Code Domain Power Active Data Power Data Modulation Rho Pilot Rho Overall Maximum Data CDP Minimum Data CDP Modulation Summary	Pilot Scanner (Nine) PN E_c/I_0 Tau Pilot Power Channel Power Pilot Dominance Multipath Scanner (Six) E_c/I_0 Tau Channel Power Multipath Power	Measurements Channel Power Occupied Bandwidth Peak-to-Average Power Carrier Frequency Frequency Error Spectral Mask Noise Floor Pilot Power RMS Phase Error Tau Code Utilization Measured PN Pilot Dominance Multipath Power

Setup Parameters

PN Setup	PN Trigger (No Trigger, GPS, External), PN Search Type (Auto, Manual), PN Offset
Walsh Codes	64, 128
Measurement Speed	Fast, Normal, Slow
External Trigger Polarity	Rising, Falling
Slot Type	Auto, Active, Idle
Number of Carriers	1 to 5
Carrier Bandwidth	1.23, 1.24, 1.25 MHz
Frequency	Center, Signal Standard, Channel #, Closest Channel, Decrement/Increment Channel
Amplitude	Scale/Division, Power Offset, Auto Range, Adjust Range, Units (dBm/Watts)
Sweep	Single/Continuous, Trigger Sweep
Save/Recall	Setup, Measurement, Screen Shot (save only), to Internal/External Memory
Measurement Summary Screens	Overall Measurements, RF Measurements, Signal Quality Measurements

RF Measurements (Option 0062)

RF Channel Power Accuracy	± 1.5 dB, ± 1.0 dB typical, (RF input -50 dBm to $+20$ dBm)
---------------------------	---

Demodulation (Option 0063)

EV-DO Compatibility	Rev 0 and Rev A
Frequency Error	± 20 Hz + time base error, 99% confidence level
Rho Accuracy	± 0.01 , for Rho > 0.9
Residual Rho	> 0.995 typical, > 0.99 , maximum (RF input -50 dBm to $+20$ dBm)
PN Offset	Within 1×64 chips
Pilot Power Accuracy	± 1.0 dB typical, relative to channel power
Tau	± 0.5 μ s typical, ± 1.0 μ s maximum

Over-the-Air (OTA) Measurements (Option 0034)

Pilot Scanner	Nine strongest pilots
Multipath Scanner	Six multipaths' power relative to strongest pilot

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications



TD-SCDMA/HSDPA Signal Analyzers (Options 0060, 0061, 0038)

Measurements

RF (Option 0060)	Demodulation (Option 0061)	Over-the-Air (OTA) (Option 0038)	Pass/Fail (User Editable)
Channel Spectrum Channel Power Occupied Bandwidth Left Channel Power Left Channel Occ B/W Right Channel Power Right Channel Occ B/W Power vs. Time Six Slot Powers Channel Power (RRC) DL-UL Delta Power UpPTS Power DwPTS Power On/Off Ratio Slot Peak-to-Average Power Spectral Emission RF Summary	Code Domain Power/Error (QPSK/8 PSK/16 QAM) Slot Power DwPTS Power Noise Floor Frequency Error Tau Scrambling Code EVM Peak EVM Peak Code Domain Error CDP Marker Modulation Summary	Code Scan (32) Scrambling Code Group Tau E _c /I ₀ Pilot Dominance Tau Scan (Six) Sync-DL# Tau E _c /I ₀ DwPTS Power Pilot Dominance Record Run/Hold	Pass Fail All Pass/Fail RF Pass Fail Demod Measurements Occupied Bandwidth Channel Power Channel Power RCC On/Off Ratio Peak-to-Average Ratio Frequency Error EVM Peak EVM Peak Code Domain Error Tau Carrier Feedthrough Noise Floor

Setup Parameters

Slot Selection	Auto, 0-6
Trigger	Trigger Type (No Trigger/GPS/External), External Trigger (Rising/Falling), Tau Offset
SYNC-DL Code	Auto, 0-31
Scrambling/Midamble Code	Auto, 0-127
Maximum Users	Auto, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16
Measurement Speed	Fast, Normal, Slow
User Selectable	Uplink Switch Point, Number of Carriers (1, 3), Tau Offset
Demodulation Type	Auto, QPSK, 8 PSK, 16 QAM
Frequency	Center, Signal Standard, Channel #, Closest Channel, Decrement/Increment Channel
Amplitude	Scale/Division, Power Offset, Auto Range, Adjust Range, Units (dBm/Watts)
Sweep	Hold/Run, Trigger Sweep
Save/Recall	Setup, Measurement, Screen Shot (save only), to Internal/External Memory
Measurement Summary Screens	Overall Measurements, RF Measurements, Signal Quality Measurements

RF Measurements (Option 0060)

RF Channel Power Accuracy (RRC)	±1.5 dB, ±1.0 dB typical, (slot power -40 to +10 dBm)
---------------------------------	---

Demodulation (Option 0061)

Supported Modulation	QPSK, 8 PSK, 16 QAM, MBMS
Residual EVM (rms)	3% typical, P-CCPH slot power > -50 dBm
PN Offset	Within 1 x 64 chips
Timing Error (Tau) for Dominant SYNC-DL	± 0.2 μs (external trigger)
Spreading Factor	1, 16

Over-the-Air (OTA) Measurements (Option 0038)

Code Scanner	32 Sync Codes and associated Scrambling Code Groups
Tau Scanner	Six strongest Sync Codes
Auto Save	Yes
GPS Tagging and Logging	Yes

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications



Fixed and Mobile WiMAX Signal Analyzers (Options 0046, 0047, 0066, 0067, 0037)

Measurements			
RF (Option 0046 - Fixed) (Option 0066 - Mobile)	Demodulation (Option 0047 - Fixed) (Option 0067 - Mobile)	Over-the-Air (OTA) (Option 0037 - Mobile)	Pass/Fail (User Editable)
Channel Spectrum Channel Power Occupied Bandwidth Power vs. Time Channel Power Preamble Power Downlink Burst Power (Mobile) Uplink Burst Power (Mobile) Data Burst Power (Fixed) Crest Factor (Fixed) ACPR RF Summary	Constellation RCE (RMS/Peak) EVM (RMS/Peak) Frequency Error CINR Base Station ID Sector ID Spectral Flatness Adjacent Subcarrier Flatness EVM vs. Subcarrier/Symbol RCE (RMS/Peak) EVM (RMS/Peak) Frequency Error CINR (Mobile) Base Station ID Sector ID (Mobile) DL-MAP (Tree View) (Mobile) Modulation Summary	Channel Power Monitor Preamble Scanner (Six) Preamble Relative Power Cell ID Sector ID PCINR Dominant Preamble Base Station ID	Pass Fail All Pass/Fail RF Pass Fail Demod Measurements Channel Power Occupied Bandwidth Downlink Bust Power Uplink Burst Power Preamble Power Crest Factor Frequency Error Carrier Frequency EVM RCE Sector ID (Mobile)

Setup Parameters

Fixed WiMAX Bandwidth	1.25, 1.50, 2.50, 3.50, 5.00, 5.50, 6.00, 7.00, 10.00 MHz
Fixed WiMAX Cyclic Prefix Ratio (CP)	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Fixed WiMAX Span	5, 10, 15, 20 MHz
Fixed WiMAX Frame Length	2.5, 5.0, 10.0 msec
Mobile WiMAX Zone Type	PUSC
Mobile WiMAX DL-MAP Auto Decoding	Convolutional Coding (CC), Convolutional Turbo Coding (CTC)
Mobile WiMAX Bandwidths	3.50, 5.00, 7.00, 8.75, 10.00 MHz
Mobile WiMAX Cyclic Prefix Ratio (CP)	1/8
Mobile WiMAX Span	5, 10, 20, 30 MHz
Mobile WiMAX Frame Lengths	5, 10 msec
Mobile WiMAX Demodulation	Auto, Manual, FCH
Frequency	Center, Signal Standard, Channel #, Closest Channel, Decrement/Increment Channel
Amplitude	Scale/Division, Power Offset, Auto Range, Adjust Range
Sweep	Single/Continuous, Trigger Sweep
Save/Recall	Setup, Measurement, Screen Shot (save only), to Internal/External Memory
Measurement Summary Screens	Overall Measurements, RF Measurements, Signal Quality Measurements

RF Measurements (Option 0046 – Fixed, Option 0066 - Mobile)

RF Channel Power Accuracy	± 1.5 dB, ± 1.0 dB typical, (RF input -50 to +20 dBm)
---------------------------	---

Demodulated Signal Analyzer (Option 0047 – Fixed, Option 0067 – Mobile)

Fixed Frequency Error	± 0.1 ppm + timebase error, 99% confidence level
Mobile Frequency Error	± 0.02 ppm + timebase error, 99% confidence level
Fixed WiMAX Residual EVM (rms)	3% typical, 3.5% maximum (RF Input -50 dBm to +20 dBm)
Mobile WiMAX Residual EVM (rms)	2.5% typical, 3.0% maximum, (RF Input -50 dBm to +20 dBm)

Over-the-Air (OTA) Measurements (Option 0037)

Channel Power Monitor	Over time (one week), measurement time interval 1 to 60 sec
Preamble Scanner	Six Strongest Preambles
Auto Save	Yes
GPS Tagging and Logging	Yes

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications

All specifications and characteristics apply under the following conditions, unless otherwise stated: 1) After 5 minutes of warm-up time, where the instrument is left in the ON state; 2) All specifications apply when using internal reference; 3) All specifications subject to change without notice; 4) Typical performance is the measured performance of an average unit; 5) Recommended calibration cycle is 12 months.

General Specifications

Maximum Continuous Input	(≥ 10 dB input attenuation) +30 dBm
Input Damage Level	≥ 10 dB input attenuation, > +43 dBm, ± 50 Vdc. Input protection relay opens at > 30 dBm < 10 dB input attenuation, > +23 dBm, ± 50 Vdc. Limited dV/dt. Input protection relay opens at approximately 10 to 23 dBm
ESD Damage Level	(≥ 10 dB input attenuation) > 10 kV
External Reference Frequencies	1 MHz, 1.2288 MHz, 1.544 MHz, 2.048 MHz, 2.4576 MHz, 4.8 MHz, 4.9152 MHz, 5 MHz, 9.8304 MHz, 10 MHz, 13 MHz and 19.6608 MHz at -10 dBm to +10 dBm

Setup Parameters

System	Status (Temperature, Battery Info, S/N, Firmware Ver, IP Address, Options Installed) Self Test, Application Self Test GPS (see Option 0031)
System Options	Name, Date and Time, Ethernet Configuration, Brightness, Volume Language (English, French, German, Spanish, Chinese, Japanese, Korean, Italian, User defined) Reset (Factory Defaults, Master Reset, Update Firmware)
File	Save, Recall, Delete, Directory Management
Save/Recall	Setups, Measurements, Screen Shots Jpeg (save only)
Delete	Selected File, All Measurements, All Mode Files, All Content
Directory Management	Sort Method (Name/Type/Date), Ascend/Descend, Internal/USB, Copy, Format USB
Internal Trace/Setup Memory	> 13,000 traces
External Trace/Setup Memory	Limited by size of USB Flash drive or Compact Flash module
Mode Switching	Auto-Stores/Recalls most recently used Setup Parameters in the Mode

Connectors

RF In	Type N, female, 50 Ω, Maximum Input +30 dBm, ± 50 VDC
GPS	BNC, female, reverse polarity
External Power	5.5 mm barrel connector, 12 to 15 VDC, < 5.0 Amps
LAN Connection	RJ48C, 10/100 Mbps, Connect to PC or LAN for Remote Access
Compact Flash Interface	Type I
USB Interface	Type A, Connect Flash Drive and Power Sensor
USB Interface	5-pin mini-B, Connect to PC for data transfer
Headset	2.5 mm miniature phone plug
External Trigger In	BNC, female, 50 Ω, Maximum Input ± 5 VDC

Display

Size	8.4"
Resolution	800 x 600

Battery

Type	Li-Ion
Battery Operation	2.5 hours, typical

Electromagnetic Compatibility

European Union	CE Mark, EMC Directive 89/336/EEC, 92/31/EEC, 93/68/EEC and Low Voltage Directive 73/23/EEC, 93/68/EEC
Australia and New Zealand	C-tick N274
Interference	EN 61326-1
Emissions	EN 55011
Immunity	EN 61000-4-2/-4-3/-4-4/-4-5/-4-6/-4-11

Safety

Safety Class	EN 61010-1 Class 1
Product Safety	IEC 60950-1 when used with Company supplied Power Supply

Environmental

Operating Temperature	-10 °C to 55 °C
Maximum Humidity	85%
Shock	MIL-PRF-28800F Class 2
Storage	-51 °C to 71 °C
Altitude	4600 meters, operating and non-operating

Size and Weight

Size	315 mm x 211 mm x 94 mm, (12.4 in x 8.3 in x 3.7 in)
Weight	3.1 kg, (6.9 lbs)

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications

Master Software Tools (for your PC)

Database Management

Full Trace Retrieval	Retrieve all traces from instrument into one PC directory
Trace Catalog	Index all traces into one catalog
Trace Rename Utility	Rename measurement traces
Group Edit	Titles, subtitles, plot scaling, markers and limit lines, simultaneously on similar files
DAT File Converter	Converts HHST files to MST file format and vice-versa

Data Analysis

Trace Math and Smoothing	Compare multiple traces
Data Converter	Convert from/to Return Loss/ VSWR/ Cable Loss/ DTF and also into Smith Charts
Measurement Calculator	Translates into other units

Report Generation

Report Generator	Includes GPS, power level, and calibration status along with measurements
Edit Graph	Change scale, limit lines, and markers
Report Format	Create reports in HTML for PDF format
Export Measurements	Export measurements to *.s2p, *.jpg or *.csv format
Notes	Annotate measurements

Mapping (GPS Required)

Spectrum Analyzer Mode	MapInfo, MapPoint
Mobile WiMAX OTA Option	Google Earth, Google Maps, MapInfo

Folder Spectrogram (Spectrum Monitoring for Interference Analysis and Spectrum Clearing)

Folder Spectrogram – 2D View	Creates a composite file of multiple traces Peak Power, Total Power, Peak Frequency, Histogram, Average Power (Max/Min) File Filter (Violations over limit lines or deviations from averages) Playback
Video Folder Spectrogram – 2D View	Create AVI file to export for management review/reports
Folder Spectrogram – 3D View	Views (Set Threshold, Markers) - 3D (Rotate X, Y, Z Axis, Level Scale, Signal ID) - 2D View (Frequency or Time Domain, Signal ID) - Top Down Playback (Frequency and/or Time Domain)

List/Parameter Editors

Traces	Add, delete, and modify limit lines and markers
Antennas, Cables, Signal Standards	Modify instrument's Antenna, Cable, and Signal Standard List
Product Updates	Auto-checks Anritsu website for latest revision firmware
Firmware Upload	Upload new firmware into the instrument
Pass/Fail	Create, download, or edit Signal Analysis Pass/Fail Limits
VSG Pattern Converter	Import user-defined patterns (ASCII text or MATLAB file format required)
Languages	Add up to two languages or modify non-English language menus
Mobile WiMAX	DL-MAP Parameters
Display	Modify display settings

Script Master™

Channel Scanner Mode	Automate scan up to 1200 channels, repeat for sets of 20 channels, repeat all channels
GSM/GPRS/EDGE or W-CDMA/HSDPA Mode	Automate Signal Analysis testing requirements with annotated how-to pictures

Connectivity

Connections	Connect to PC using USB, LAN, or Direct Ethernet connection
Download	Download measurements and live traces to PC for storage and analysis
Upload	Upload measurements from PC to instrument
Firmware Updates	Product Update: download latest firmware version
Remote Access Tool	Remote control and monitoring of instrument (via Ethernet port) over the Internet

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications

Ordering Information

	MS2721B	Description
	9 kHz to 7.1 GHz	Spectrum Analyzer
	Options	
	MS2721B-0031	GPS Receiver (includes antenna)
	MS2721B-0019	High-Accuracy Power Meter
	MS2721B-0025	Interference Analyzer
	MS2721B-0027	Channel Scanner
	MS2721B-0090	Gated Sweep
	MS2521B-0020	Tracking Generator
	MS2721B-0009	I/Q Demodulation Hardware*
	MS2721B-0040	GSM/GPRS/EDGE RF Measurements*
	MS2721B-0041	GSM/GPRS/EDGE Demodulation*
	MS2721B-0044	W-CDMA/HSDPA RF Measurements*
	MS2721B-0045	W-CDMA Demodulation*
	MS2721B-0065	W-CDMA/HSDPA Demodulation*
	MS2721B-0035	W-CDMA/HSDPA Over-the-Air Measurements**
	MS2721B-0060	TD-SCDMA/HSDPA Measurements*
	MS2721B-0061	TD-SCDMA/HSDPA Demodulation*
	MS2721B-0038	TD-SCDMA/HSDPA Over-the-Air Measurements*
	MS2721B-0541	LTE RF Measurements*
	MS2721B-0542	LTE Modulation Measurements*
	MS2721B-0546	LTE Over-the-Air Measurements*
	MS2721B-0042	cdmaOne/CDMA2000 1X RF Measurements*
	MS2721B-0043	cdmaOne/CDMA2000 1X Demodulation*
	MS2721B-0033	cdmaOne/CDMA2000 1X Over-the-Air Measurements**
	MS2721B-0062	CDMA2000 1xEV-DO RF Measurements*
	MS2721B-0063	CDMA2000 1xEV-DO Demodulation*
	MS2721B-0034	CDMA2000 1xEV-DO Over-the-Air Measurements**
	MS2721B-0046	IEEE 802.16 Fixed WiMAX RF Measurements*
	MS2721B-0047	IEEE 802.16 Fixed WiMAX Demodulation*
	MS2721B-0066	IEEE 802.16 Mobile WiMAX RF Measurements*
	MS2721B-0067	IEEE 802.16 Mobile WiMAX Demodulation*
	MS2721B-0037	IEEE 802.16 Mobile WiMAX Over-the-Air Measurements
	MS2721B-0064	DVB-T/H Measurements*
	MS2721B-0078	DVB-T/H SFN Field Measurements*
	MS2721B-0057	DVB-T/H BER Unit (requires Option 0064)*
	MS2721B-0030	ISDB-T Measurements*
	MS2721B-0032	ISDB-T SFN Field Measurements*
	MS2721B-0098	Standard Calibration to Z540
	MS2721B-0099	Premium Calibration to Z540 plus test data *Requires Option 0009, **Requires Option 0009, and Option 0031

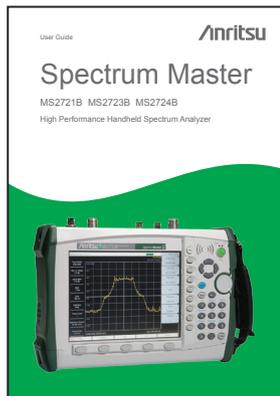
Power Sensors (For complete ordering information see the respective datasheets of each sensor)



Part Number	Description
PSN50	High Accuracy RF Power Sensor, 50 MHz to 6 GHz, +20 dBm
MA24104A	Inline High Power Sensor, 600 MHz to 4 GHz, 150 W
MA24106A	High Accuracy RF Power Sensor, 50 MHz to 6 GHz, +23 dBm
MA24108A	Microwave USB Power Sensor, 10 MHz to 8 GHz, +20 dBm
MA24118A	Microwave USB Power Sensor, 10 MHz to 18 GHz, +20 dBm
MA24126A	Microwave USB Power Sensor, 10 MHz to 26 GHz, +20 dBm

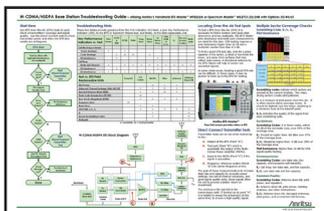
Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications

Manuals (soft copy included on MST CD and at www.us.anritsu.com)



MS2721B	Description
10580-00175	Spectrum Master User Guide (Hard copy included) - Bias-Tee, GPS Receiver
10580-00231	Spectrum Analyzer Measurement Guide - Interference Analyzer, Channel Scanner, IF Output, Gated Sweep
10580-00240	Power Meter Measurement Guide - High Accuracy Power Meter
10580-00232	Signal Generator Measurement Guide - Tracking, and Vector Signal Generator
10580-00234	3GPP Signal Analyzer Measurement Guide - GSM/EDGE, W-CDMA/HSDPA, TD-SCDMA/HSDPA, LTE
10580-00235	3GPP2 Signal Analyzer Measurement Guide - CDMA, EV-DO
10580-00236	WiMAX Signal Analyzer Measurement Guide - Fixed WiMAX, Mobile WiMAX
10580-00237	Digital TV Measurement Guide - DVB-T/H, ISDB-T
10580-00176	Programming Manual
10580-00177	Maintenance Manual

Troubleshooting Guides (soft copy included on MST CD and at www.us.anritsu.com)



11410-00472	Interference
11410-00466	GSM/GPRS/EDGE Base Stations
11410-00463	W-CDMA/HSDPA Base Stations
11410-00465	TD-SCDMA/HSDPA Base Stations
11410-00467	cdmaOne/CDMA2000 1X Base Stations
11410-00468	CDMA2000 1xEV-DO Base Stations
11410-00470	Fixed WiMAX Base Stations
11410-00469	Mobile WiMAX Base Stations

Standard Accessories (included with instrument)

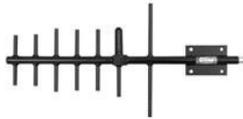


10580-00207	Spectrum Master User Guide (includes Bias-Tee and GPS Receiver)
2300-498	MST CD: Master Software Tools, User/Measurement Guides, Programming Manual, Troubleshooting Guides, Application Notes
65729	Soft Carrying Case
633-44	Rechargeable Li-Ion Battery
40-168-R	AC/DC Power Supply
806-141-R	Automotive Cigarette Lighter 12 Volt DC Adapter
3-806-152	Cat 5e Crossover Patch Cable, 7 feet/213 cm
2000-1371-R	Ethernet Cable, 7 feet/213 cm
3-2000-1498	USB A-mini B Cable, 10 feet/305 cm
2000-1520-R	USB Memory Drive
1091-27-R	Type-N male to SMA female adapter
1091-172	Type-N male to BNC female adapter
11410-00405	Spectrum Master™ MS2721B Technical Data Sheet One Year Warranty (Including battery, firmware, and software) Certificate of Calibration and Conformance

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications

Optional Accessories

Directional Antennas



Part Number	Description
2000-1411-R	824 MHz to 896 MHz, N(f), 10 dBd, Yagi
2000-1412-R	885 MHz to 975 MHz, N(f), 10 dBd, Yagi
2000-1413-R	1710 MHz to 1880 MHz, N(f), 10 dBd, Yagi
2000-1414-R	1850 MHz to 1990 MHz, N(f), 9.3 dBd, Yagi
2000-1415-R	2400 MHz to 2500 MHz, N(f), 10 dBd, Yagi
2000-1416-R	1920 MHz to 2170 MHz, N(f), 10 dBd, Yagi
2000-1519-R	500 MHz to 3000 MHz, log periodic
2000-1617	600 MHz to 2100 MHz, N(f), 5-8 dBi to 12 GHz, 0-6 dBi to 21 GHz, log periodic

Portable Antennas



2000-1200	806 MHz to 866 MHz, SMA(m), 50 Ω
2000-1473	870 MHz to 960 MHz, SMA(m), 50 Ω
2000-1035	896 MHz to 941 MHz, SMA (m), 50 Ω (1/4 wave)
2000-1030	1710 MHz to 1880 MHz, SMA(m), 50 Ω (1/2 wave)
2000-1474	1710 MHz to 1880 MHz with knuckle elbow (1/2 wave)
2000-1031	1850 MHz to 1990 MHz, SMA(m), 50 Ω (1/2 wave)
2000-1475	1920 MHz to 1980 MHz and 2110 MHz to 2170 MHz, SMA(m), 50 Ω
2000-1032	2400 MHz to 2500 MHz, SMA(m), 50 Ω (1/2 wave)
2000-1361	2400 MHz to 2500 MHz, 5000 MHz to 6000 MHz, SMA(m), 50 Ω
2000-1616	20 MHz to 21000 MHz, N(f), 50 Ω
61532	Antenna Kit (Consists of: 2000-1030, 2000-1031, 2000-1032-R, 2000-1200, 2000-1035, 2000-1361, and carrying pouch)

Bandpass Filters



1030-114-R	806 MHz to 869 MHz, N(m) to SMA(f), 50 Ω
1030-109-R	824 MHz to 849 MHz, N(m) to SMA (f), 50 Ω
1030-110-R	880 MHz to 915 MHz, N(m) to SMA (f), 50 Ω
1030-105-R	890 MHz to 915 MHz Band, 0.41 dB loss, N(m) to SMA(f), 50 Ω
1030-111-R	1850 MHz to 1910 MHz, N(m) - SMA (f), 50 Ω
1030-106-R	1710 MHz to 1790 MHz Band, 0.34 dB loss, N(m) to SMA(f), 50 Ω
1030-107-R	1910 MHz to 1990 MHz Band, 0.41 dB loss, N(m) to SMA(f), 50 Ω
1030-112-R	2400 MHz to 2484 MHz, N(m) to SMA (f), 50 Ω
1030-155-R	2500 MHz to 2700 MHz, N(m) to N(f), 50 Ω

Attenuators



3-1010-122	20 dB, 5 W, DC to 12.4 GHz, N(m) to N(f)
42N50-20	20 dB, 5 W, DC to 18 GHz, N(m) to N(f)
42N50A-30	30 dB, 5 W, DC to 18 GHz, N(m) to N(f)
3-1010-123	30 dB, 50 W, DC to 8.5 GHz, N(m) to N(f)
1010-127-R	30 dB, 150 W, DC to 3 GHz, N(m) to N(f)
3-1010-124	40 dB, 100 W, DC to 8.5 GHz, N(m) to N(f), Uni-directional
1010-121	40 dB, 100 W, DC to 18 GHz, N(m) to N(f), Uni-directional
1010-128-R	40 dB, 150 W, DC to 3 GHz, N(m) to N(f)

Spectrum Master™ MS2721B Spectrum Analyzer Specifications

Optional Accessories (continued)

Adapters



1091-26-R	SMA(m) - N(m), DC to 18 GHz, 50 Ω
1091-27-R	SMA(f) - N(m), DC to 18 GHz, 50 Ω
1091-80-R	SMA(m) - N(f), DC to 18 GHz, 50 Ω
1091-81-R	SMA(f) - N(f), DC to 18 GHz, 50 Ω
1091-172	BNC(f) - N(m), DC to 1.3 GHz, 50 Ω
1091-379-R	7/16 DIN(f) - 7/16 DIN(f), DC to 6 GHz, 50 Ω, w/ Reinforced Grip
510-102-R	N(m) - N(m), DC to 11 GHz, 50 Ω, 90 degrees right angle

Precision Adapters



34NN50A	Precision Adapter, N(m) - N(m), DC to 18 GHz, 50 Ω
34NFN50	Precision Adapter, N(f) - N(f), DC to 18 GHz, 50 Ω

Miscellaneous Accessories



2000-1410	GPS Antenna, RP-BNC
69793	CW Signal Generator Kit
2000-1520-R	USB Flash Drive
3-200-1567	512 MB Compact Flash Card
2000-1374	External Charger for Li-Ion Batteries

Backpack and Transit Case



67135	Anritsu Backpack (For Handheld Instrument and PC)
760-243-R	Large Transit Case with Wheels and Handle

Anritsu

Anritsu Corporation

5-1-1 Onna, Atsugi-shi, Kanagawa, 243-8555 Japan
Phone: +81-46-223-1111
Fax: +81-46-296-1264

• U.S.A.

Anritsu Company

1155 East Collins Boulevard, Suite 100,
Richardson, Texas 75081 U.S.A.
Toll Free: 1-800-ANRITSU (267-4878)
Phone: +1-972-644-1777
Fax: +1-972-671-1877

• Canada

Anritsu Electronics Ltd.

700 Silver Seven Road, Suite 120, Kanata,
Ontario K2V 1C3, Canada
Phone: +1-613-591-2003
Fax: +1-613-591-1006

• Brazil

Anritsu Eletrônica Ltda.

Praca Amadeu Amaral, 27-1 Andar
01327-010 - Paraiso, São Paulo, Brazil
Phone: +55-11-3283-2511
Fax: +55-11-3288-6940

• Mexico

Anritsu Company, S.A. de C.V.

Av. Ejército Nacional No. 579 Piso 9, Col. Granada
11520 México, D.F., México
Phone: +52-55-1101-2370
Fax: +52-55-5254-3147

• U.K.

Anritsu EMEA Ltd.

200 Capability Green, Luton, Bedfordshire LU1 3LU, U.K.
Phone: +44-1582-433200
Fax: +44-1582-731303

• France

Anritsu S.A.

16/18 Avenue du Québec-SILIC 720
91961 COURTABOEUF CEDEX, France
Phone: +33-1-60-92-15-50
Fax: +33-1-64-46-10-65

• Germany

Anritsu GmbH

Nemetschek Haus, Konrad-Zuse-Platz 1
81829 München, Germany
Phone: +49 (0) 89 442308-0
Fax: +49 (0) 89 442308-55

• Italy

Anritsu S.p.A.

Via Elio Vittorini, 129, 00144 Roma, Italy
Phone: +39-06-509-9711
Fax: +39-06-502-2425

• Sweden

Anritsu AB

Borgarfjordsgatan 13, 164 40 Kista, Sweden
Phone: +46-8-534-707-00
Fax: +46-8-534-707-30

• Finland

Anritsu AB

Teknobulevardi 3-5, FI-01530 Vantaa, Finland
Phone: +358-20-741-8100
Fax: +358-20-741-8111

• Denmark

Anritsu A/S

Kirkebjerg Allé 90 DK-2605 Brøndby, Denmark
Phone: +45-72112200
Fax: +45-72112210

• Spain

Anritsu EMEA Ltd.

Oficina de Representación en España

Edificio Veganova
Avda de la Vega, nº 1 (edf 8, pl1, of 8)
28108 ALCOBENDAS - Madrid, Spain
Phone: +34-914905761
Fax: +34-914905762

• Russia

Anritsu EMEA Ltd.

Representation Office in Russia

Tverskaya str. 16/2, bld. 1, 7th floor.
Russia, 125009, Moscow
Phone: +7-495-363-1694
Fax: +7-495-935-8962

• United Arab Emirates

Anritsu EMEA Ltd.

Dubai Liaison Office

P O Box 500413 - Dubai Internet City
Al Thuraya Building, Tower 1, Suite 701, 7th Floor
Dubai, United Arab Emirates
Phone: +971-4-3670352
Fax: +971-4-3688460

• Singapore

Anritsu Pte. Ltd.

60 Alexandra Terrace, #02-08, The Comtech (Lobby A)
Singapore 118502
Phone: +65-6282-2400
Fax: +65-6282-2533

• India

Anritsu Pte. Ltd.

India Branch Office

3rd Floor, Shri Lakshminarayan Niwas,
#2726, 80 ft Road, HAL 3rd Stage, Bangalore - 560 075, India
Phone: +91-80-4058-1300
Fax: +91-80-4058-1301

• P. R. China (Hong Kong)

Anritsu Company Ltd.

Units 4 & 5, 28th Floor, Greenfield Tower, Concordia Plaza,
No. 1 Science Museum Road, Tsim Sha Tsui East,
Kowloon, Hong Kong, P.R. China
Phone: +852-2301-4980
Fax: +852-2301-3545

• P. R. China (Beijing)

Anritsu Company Ltd.

Beijing Representative Office

Room 2008, Beijing Fortune Building,
No. 5, Dong-San-Huan Bei Road,
Chao-Yang District, Beijing 100004, P.R. China
Phone: +86-10-6590-9230
Fax: +86-10-6590-9235

• Korea

Anritsu Corporation, Ltd.

8F Hyunjuk Bldg. 832-41, Yeoksam-Dong,
Kangnam-ku, Seoul, 135-080, Korea
Phone: +82-2-553-6603
Fax: +82-2-553-6604

• Australia

Anritsu Pty Ltd.

Unit 21/270 Ferntree Gully Road, Notting Hill
Victoria, 3168, Australia
Phone: +61-3-9558-8177
Fax: +61-3-9558-8255

• Taiwan

Anritsu Company Inc.

7F, No. 316, Sec. 1, Neihu Rd., Taipei 114, Taiwan
Phone: +886-2-8751-1816
Fax: +886-2-8751-1817



Experimental Analysis of a Node B Coverage Based on the CPICH and E_c/I_0 Values

Iván Zamudio-Castro, Sergio Vidal-Beltrán, Jazmín Ponce-Rojas, Jorge Sosa-Pedroza

Maestría en Ciencias en Ingeniería de Telecomunicaciones, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México City, México.
Email: svidalb@ipn.mx

Received November 8th, 2010; revised December 25th, 2010; accepted December 29th, 2010

ABSTRACT

This paper presents experimental results of a coverage analysis in a WCDMA network using the 850 MHz band; an urban electromagnetic propagation environment is considered. Obtained coverage estimation maps are based on Krige statistical method of interpolation. Key performance parameters used in this work are the CPICH and E_c . The results could be used to identify problems and help to optimize cell coverage and capacity in a given service area.

Keywords: WCDMA. Coverage Analysis, CPICH, E_c/I_0

1. Introduction

WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) is a technology of third generation 3G that increases data transmission rates by broadening the signal at the air interface through the Multiple Access Code Division Multiplexing instead of Time Division used by GSM systems. WCDMA supports multimedia services with very high speed and full-motion video, Internet access and videoconferencing. It also easily handles applications that make use intensively of bandwidth such as data and image transmission via Internet. In a communication system based on multiple access, an amount of users want to access the channel simultaneously. To implement a multiple access communication there are several techniques that allow users to share the channel. In the technique of multiple access code division (CDMA), users can access the channel simultaneously and share the same bandwidth. WCDMA is a spread spectrum technology [1], which expands the signals over a bandwidth of 5 MHz and is capable of carrying voice and data at the same time. These features allow a data rate of 384 Kbps in Release 5, and a transfer rate in the downlink of up to 2Mbps in the Release 6, which includes HSPA, and average processing speeds (for file downloads) of 220-320 Kbps [2]. Spread spectrum is a technique used to transmit data on a bandwidth considerably larger. Its basic foundation is the "widening" of the transmitted signal over a very wide

frequency band, much wider than the minimum bandwidth required transmitting the information that you want to send. This higher bandwidth can be obtained by encoding information with a pseudo-random signal. The coded information is transmitted in the frequency that works for which the sender uses a much higher bandwidth than no encryption is used (direct sequence). The spreading operation is the multiplication of each bit of user data with a sequence of 8 bits of code, called chips [3,4].

Currently, WCDMA is the wireless access technology broadest deployed worldwide. WCDMA is a wide band system where the transmitted signal with a rate R is spread by combining it with a wideband spreading signal, creating a spread signal with a bandwidth W . The effective bandwidth for a WCDMA air interface is 3.84 MHz and with guard bands, as a result the required bandwidth is 5 MHz [4]. The WCDMA system uses several codes; when the signal is transmitted from the Base Station carries a unique code called Scrambling Code SC, used in the downlink direction for cell/sector separation. This SC is also employed in the uplink direction to separate every user from each other.

The Base Station (BS), also known as Node B, is part of the Network of Terrestrial Radio Access of UMTS (UTRAN). The Node B takes in charge several tasks such as: transmission and reception of radio signals, signal filtering, amplification, modulation and demodulation of the signal and be an interface to the con-

troller of Radio Network (RNC) [1].

Common Pilot Channel (CPICH) transmits a carrier used to estimate the channel parameters. It is the physical reference for other channels. It is used for power control, transmission and coherent detection, channel estimation, measurement of adjacent cells and obtaining the scrambling code (Scrambling Code SC) [2]. Despite receiving a high power level, communication can be poor because of the interference effect. In these situations, UMTS is more tolerant than GSM, rather than producing a disconnection in communication leads to a reduction in transmission rate. This fact, however, produces an additional load on the radio channel. Power level is divided into different paths which, depending on the quality of the Rake receiver (included in the mobile phone), provide a greater or lesser number of signal components. In the case of obtaining different signal delays (delays), the orthogonality of the codes transmitted by a base station fades. This causes all the signals sent by the station, and in particular the signals from other subscribers, would have a high interference. [3]

The RSCP is the power value after the process of correlation/separation (dBm) and should be measured for each code. Denotes the power measured by a receiver on a physical channel communications in particular. It is used as an indicator of signal strength as a criterion for delivery in the downlink control energy and for calculating path loss. And can only be measured once the receiver has found the dominant pilot.

Interference is typically measured by the energy per chip to total received power (E_c/I_o) of the CPICH, in other words, how clear is the signal received. E_b/I_o is the ratio of energy per bit to interference after despreading. This value is the one that has direct effects on bit error rate. E_c/I_o is only defined by the pilot channel, is measured before the despreading; all channels contribute to the total output of I_o . E_b/I_o is the energy per bit to noise spectral density, is the signal to (noise + interference) after despreading, from some channels except the pilot. There is a one to one relationship between E_c/I_o of the pilot and E_b/N_o traffic channel. At one point in particular, the value of E_c/I_o is almost constant, but the value of E_b/N_o is constantly changing due to forward link power control. The value of E_c/I_o should be -9 dB or higher in 95% of the coverage area, as shown in **Figure 7**, for a UE could be associated with a Node B and could be able to establish a voice call.

2. Test Scenario

Measurements were done, along the test area, (**Figure 1**) using a BTS Master MT8222A, which is a spectrum



Figure 1. Area under analysis.

analyzer with advanced Software profiles to analyze WCDMA/HSDPA signals [5,6]. The measurement capabilities of this unit include Return Loss, Cable Loss, Distance to Fault, two port gain/loss, one port and two ports magnitude and phase, interference analysis, spectrogram, and power meter. The BTS Master can measure Node B performance Over the Air by connecting an antenna or by connecting Node B equipment directly to the BTS Master MT8222A. Measuring a WCDMA signal over the air, the antenna must be connected appropriately to the frequency band to be measured. Among all the parameters measured by the BTS Master MT8222A [5-7], the CPICH (Common Pilot Indicator Channel) was the main focused.

In the UMTS cellular communication system denotes the power measured by a receiver in a specific communication physical channel. It is used as an indicator of signal strength as a criterion for delivery in the downlink control energy and the calculation of loss per path. In WCDMA systems a physical channel corresponds to a particular spreading code, hence the name. **Figure 1** shows the area where measurements took place. This area covers approximately 0.7 Km^2 , where different electromagnetic scenarios can be found such as, open area, suburban and urban areas. Open area model includes scenarios with open space, and no large trees or buildings in the path [2]. In the field area located in the upper left side of **Figure 1**, we have an open area because the presence of trees is very low and building is null.

Figure 1, also shown the positions where the 4 nearest

Base Stations are located. The suburban model represents a village or a road with scattered trees and houses, some obstacles near the mobile, but not too congested [2]. In this case, academic buildings areas were chosen because present a combination of low and medium buildings heights with some trees. With these features the multipath propagation analysis is very thorough, considering in this way the obstacles that cause mainly this phenomenon. The defined area for the analysis consists of 4 faculties with a mix of 9 administrative and teaching buildings equal space distributed, recreation areas, halls, one stadium, a library and a large teaching building that extends from North to South as shown in **Figure 1** and delimited by the red square. Also the closest Node Bs is shown in a blue circle with the 3G label.

Measurements were done specifically in Channel 1087 of WCDMA Band V of additional channels, using the Spectrum Master MS2721B, GPS options and an omnidirectional antenna in the range of 870-960 MHz [7]. Kriging interpolation method [9] was used to get the coverage maps. All measurements were performed with the measuring equipment at a height of 1 meter and 10 cm above the floor and moving with him on foot through the exteriors of buildings [8].

While measurements were obtained, it was necessary to have geo-referenced information at the point where

measurements were made. GPS functionality was activated in the menu "System" of the spectrum analyzer and a GPS antenna was connected [6]. This feature requires that the GPS antenna is outside and wait a few minutes to get traced back at least 4 satellites and be able to have the position information of latitude, longitude, altitude and time.

In the analyzed area (see **Figure 1**), 19 different Scrambling Codes were founded from a total of 1519 measurements, each one of the SCs codes founded with its associated GPS information were separated from each other and their CPICH, Ec, Ec/Io, Pilot Dominance values were extracted from the *.csv files generated in the MST. Kriging methodology [9] application (running over MatLab) requires of position information (Latitude and Longitude) plus one additional value to generate the estimations maps in two dimensions. In this case, the third value considered were the power of the Ec and CPICH, and their respective coverage maps were gotten.

This paper shows the measurements for 226, 181 and 246 Scrambling codes. The next section exhibits the results of the measurements described before.

3. Measurements

The following maps (**Figures 2 and 3**) belong to Node B

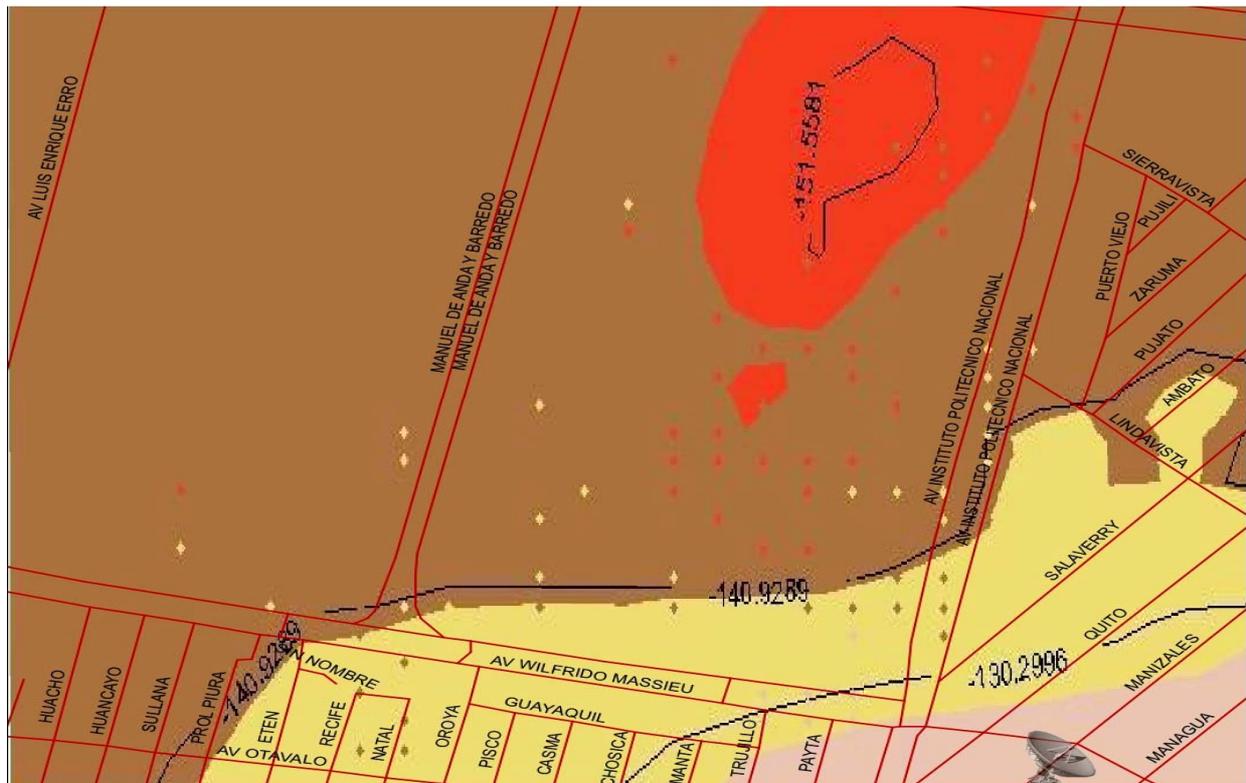


Figure 2. Coverage estimation map for Ec SC 226.

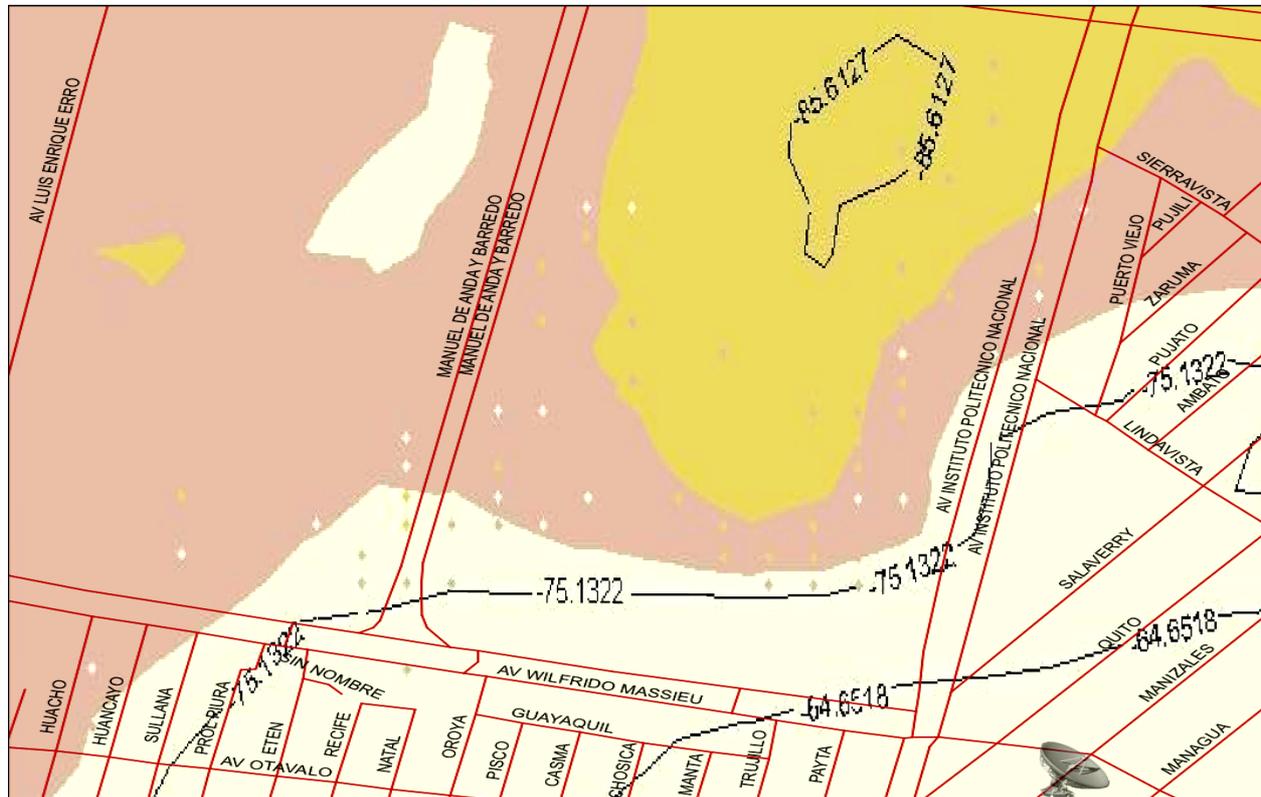


Figure 3. Coverage estimation map for CPICH SC 226.

with SC 226. The Node B is located in the right bottom corner and its SC is 224, 225 and 226. The Antennas height for this Node B is about 18 meters.

Node B is located in the right bottom corner of the **Figures 2 and 3**; we can see that the strength level of the WCDMA signal decreases when the measurement point is located further from the Node B. The SC 226 is the strongest signal in the studied area.

The higher power levels are identified by the first band of color scale on the bottom of the image-white color. Then the signal strength starts to decrease, and the next level there is a new increase in power levels in a region northwest of the area where the stadium and a wooded area are located, so this increase in power level must be caused by phenomena such as multipath or reflections in the stadium structure which cause this increase in power WCDMA signal. Coverage maps for the Scrambling Code 181 for values of CPICH and Ec associated with the Node B are shown in **Figures 4 and 5**, respectively. The Node B is located on Wilfrido Massieu Avenue (bottom left of the figures). In this case the attenuation of the signal is observed to be from left to right, going from the lighter shades to darker; Red color identifies the higher attenuation (12 dB at distances no greater than 200 meters)

The Node B, identified as Ticoman, is a node that is located North-East of the area selected, (top-right of the figures). Based on the sector 246, (Scrambling code 246) we were able to get the coverage maps for the CPICH and Ec values shown in **Figures 6 and 7**, respectively. The Node B is near to the selected area, approximately 500 meters and the observed power levels are defined by the first four colors of power. At the top left of the **Figure 6**, we can observe a similar behavior to that presents the Node B Lindavista with SC 226 (Stadium Area), where after the power is decreasing, is detected an increased level of power due factors such as multipath.

4. Considerations and Results

Based in the previous sections, we can point out several concerns related to the Ec level, expressed on the Guideline Section [6], where is mentioned that the Ec level should be higher to -88 dBm in the 97% of the coverage area and in this case the higher level for Ec is -125 dBm in a very reduced strip of the area. As can be seen in **Figure 1**, Node B LINDA is very close to the campus and the farthest measured point (top left corner) is located to 800 mts, where values between -140 to -150 dBm were obtained. Also, it can be seen that the maps generated for both Ec and CPICH follow almost the same pattern, ex-



Figure 4. Coverage estimation map for CPICH SC 181.

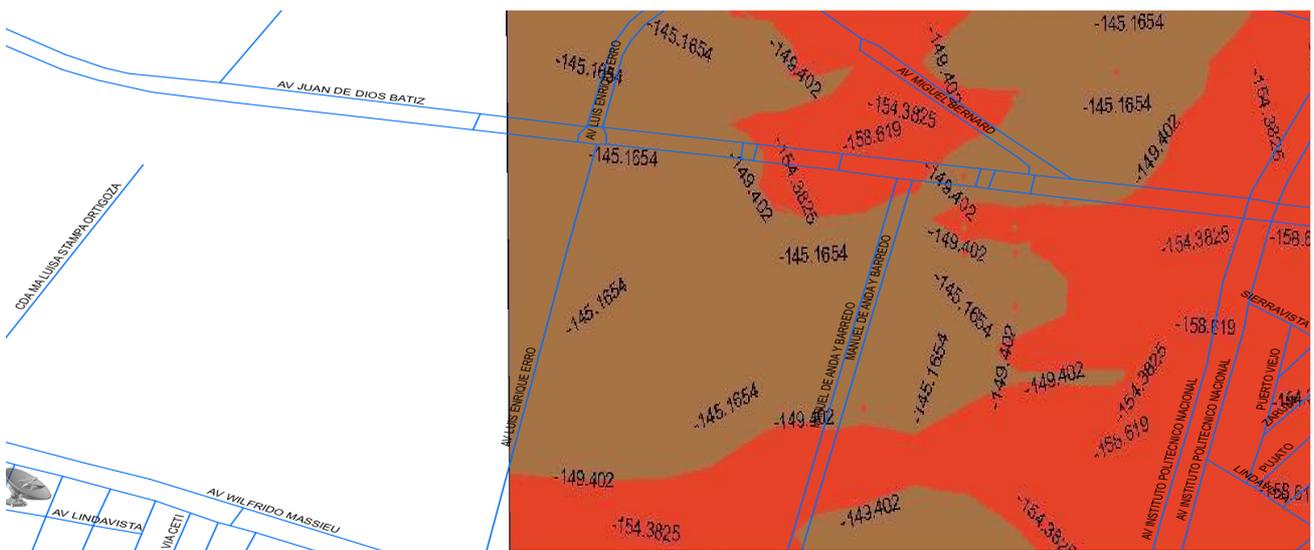


Figure 5. Coverage estimation map for Ec SC 181.

cept for the white area in the top of **Figure 3**, where an increased of power is shown for CPICH power stadium located in this area. The power level of the CPICH, is useful in order to plan the cell coverage and to determine how many mobile stations can be connected to the base station [2]. The CPICH power administration implies a tradeoff between power level and coverage; this administration could be applied to balance the load and traffic of the cell and the neighboring cells, this effect could reduce the interference levels, and improve the system capacity.

The cell size can be modified depending on the CPICH

power level. If the power of the cell is lower, it could be possible that some areas do not have coverage; in an area without coverage, a mobile station is not able to receive and detect a CPICH dominant (fallen calls, bad voice quality and a lower throughput can be the result of this effect). In the other hand, a very high CPICH power level, can provoke that multiple SC can be detected in the Soft Handover area; fallen calls, blocked calls can be experienced for the mobile stations. This type of experimental analysis is important in order to adequately plan the coverage and capacity of a WCDMA network. It should continue to analyze the presence of other SC in the area and

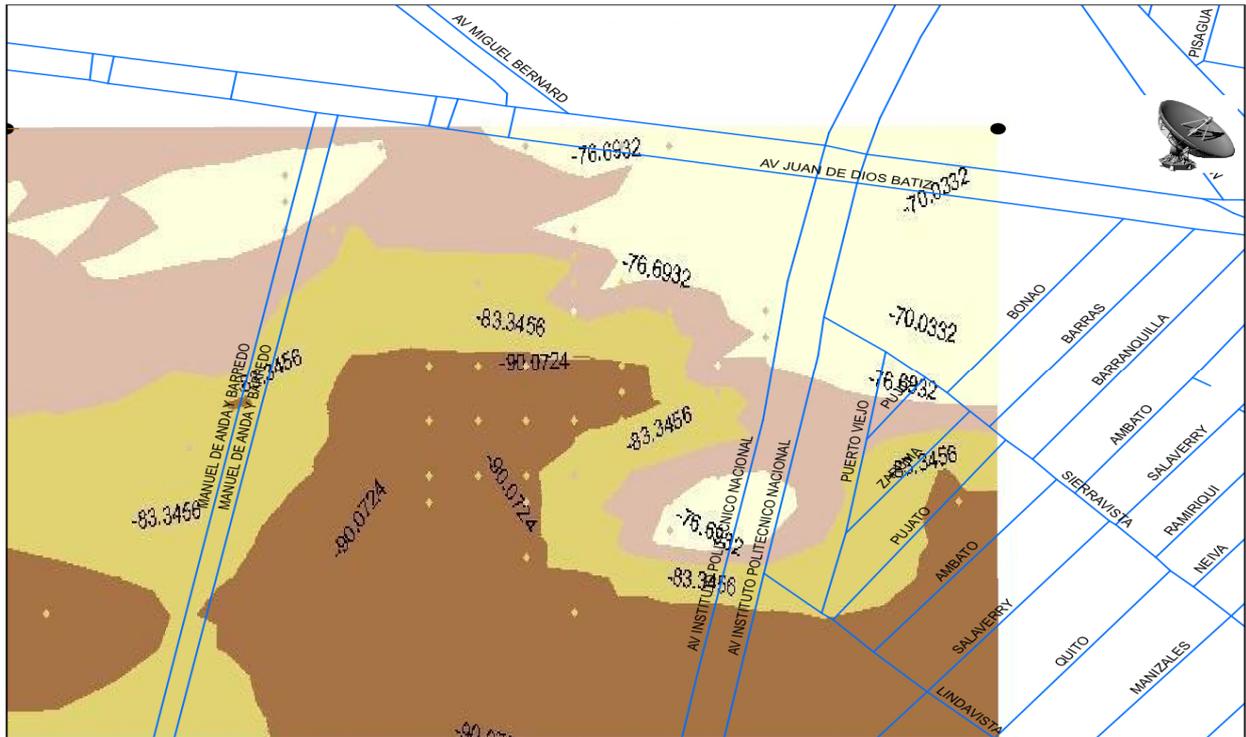


Figure 6. Coverage estimation map for CPICH SC 246

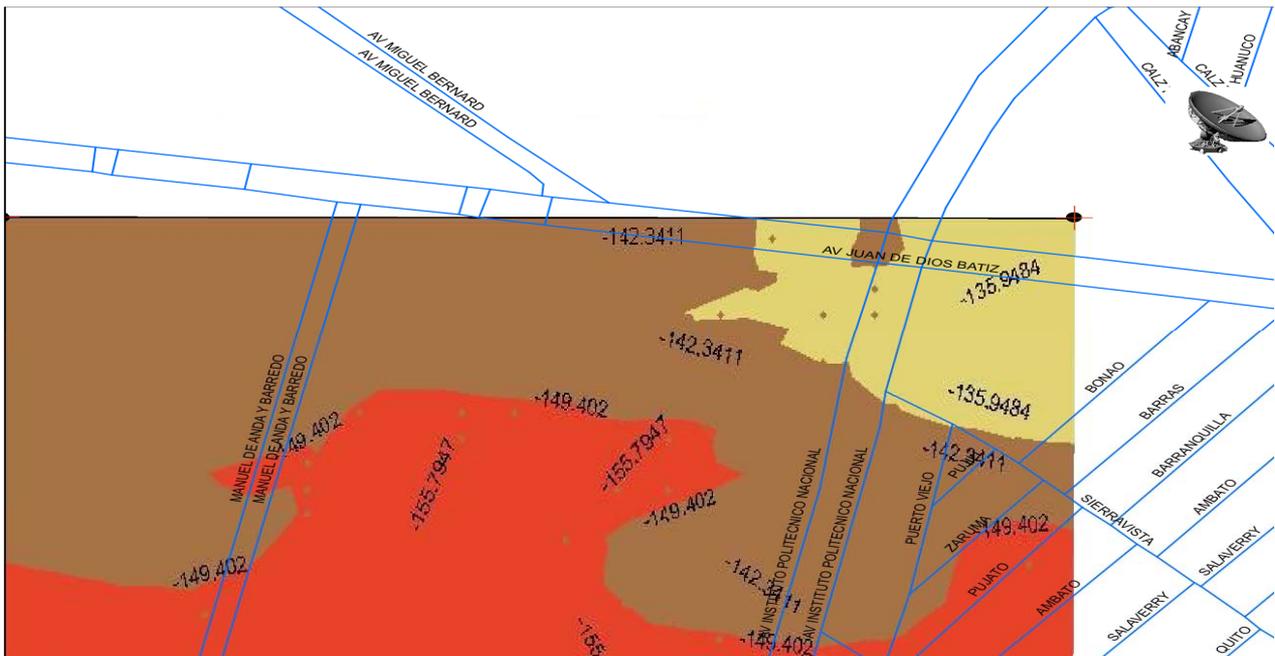


Figure 7. Coverage estimation map for Ec with SC 246.

REFERENCES

determine the crosstalk between themselves. It should also make an analysis of coverage taking into account the three sectors of base stations nearest to the studied area.

[1] H. Holma and A. Toskala, "WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications,"

- John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, 2000.
- [2] R. Tanner and J. Woodard, "WCDMA—Requirements and Practical Design," John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, 2004.
 - [3] D. Fox, "Testing UMTS: Assuring Conformance and Quality of UMTS User Equipment," John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, 2008.
 - [4] M. Assaad, B. Jouaber and D. Zeghlache, "TCP Performance Over UMTS-HSDPA System," *Telecommunication Systems*, Vol. 7, No. 2-4, 2006, pp. 371-391.
 - [5] Anritsu Co., Ltd., "Practical Tips on WCDMA Measurements," 2009. <http://www.us.anritsu.com>
 - [6] Anritsu Document, "WCDMA/HSDPA Base Station Troubleshooting Guide," <http://www.us.anritsu.com>
 - [7] Anritsu Company, "Spectrum Master MS2721B, MS2723B, MS2724B," 2009. <http://www.us.anritsu.com>
 - [8] Anritsu Company, "3GPP Signal Analyzer for Anritsu's RF and Microwave Handheld Instruments," 2009. <http://www.us.anritsu.com/>
 - [9] M. L. Stein, "Interpolation of Spatial Data: Some Theory for Kriging," Springer, New York, 1999.

A Geographic Information System Applied to Coverage Maps of 3G Cellular Communications Networks

Jazmín Ponce-Rojas, Sergio Vidal-Beltrán, Marco A. Acevedo-Mosqueda, Montserrat Jimenez-Licea

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, México DF, México

E-mail: ponce_jaz7@hotmail.com, svidalb@ipn.mx

Received January 14, 2011; revised February 1, 2011; accepted February 13, 2011

Abstract

This paper shows the procedure to obtain a continuous coverage map based on a collection of power measurements using a Geographic Information System, through satellite photographs of the Professional Unit Adolfo Lopez Mateos, and a group of punctual samples of the power of the Common Pilot Channel (CPICH); which is used to estimate the radio communications channel conditions, taken at different positions and distances. These samples were taken using specialized equipment to obtain georeferenced measurements, and by a technique of statistical prediction, as the Kriging Method, generate continuous coverage maps, making it possible to know the distribution of power, and therefore understanding the behavior and configuration of a Base Station, which in third generation cellular systems is also called Node B.

Keywords: GIS, 3G, Coverage Maps

1. Introduction

In the cell phone as all services must comply with the quality offered to users. That is why designers and administrators of wireless networks require an experimental analysis to determine the performance of networks. In a cellular scheme, the analysis is done in the coverage area (cell) that is assigned to the Base Station –also called Node B–, it is precisely in this area where the service provider ensures that the Node B perform properly the transmission and reception of radio, filtering of the signal, amplification, modulation y demodulation of the signal, besides being the interface to the Controller of Radio Network (RNC). Normally a Node B has a total average power transmission of 20 w (43 dBm) [1].

Both the uplink (User Station to Base Station) as the downlink (Base Station to User Station) are implemented with WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) which is the technique of media access in third generation cellular networks (3G), through which multiple users access to a channel at the same time, but with a unique code that identifies (Scrambling Code SC) each one.

The third generation cellular system operates in a unique center frequency at which power is the parameter

of network control, and therefore the variable to analyze; specifically examine the power of the Common Pilot Channel (CPICH), which transmits a carrier used to estimate the channel parameters. It is the physical reference for other channels, and is used to control power, coherent transmission and detection, channel estimation, measurement of adjacent cells and obtaining of the SC [2].

Measuring equipment currently available for this purpose is capable of taking grab samples of the power levels at certain points. For adequate coverage analysis requires the proper spacing between measurements, making it easy to apply statistical techniques such as Kriging Method that allows power to predict unknown values from irregularly spaced known values, that is to say which through georeferenced measurements of power is possible to estimate the behavior of the any point within the studied area obtaining continuous coverage maps.

For complete analysis requires the use of a Geographic Information System (GIS, Geographic Information System) which is an organized integration of hardware, software and geographic data, designed to capture, store, manipulate, analyze and display all forms of geographically referenced information, to solve complex problems of planning and management to meet specific information necessary for a general vision of the area of interest

[3].

1.1. Geographic Information Systems

A GIS is a geographic system which allows the creation of maps and spatial analysis; is an information system because it focuses on the management, data processing previously stored and allows for efficient, repetitive and standardized spatial consultations, for adding value to the information maintained; and is an informatics system with specialized hardware and software that process the obtained data (spatial databases). The GIS functions as a database of geographic information that is associated by a common identifier to graphic objects on a digital map in this case the CPICH power level. By separating information into different layers, are stored separately, allowing to work with them quickly and easily, to generate new information that could not otherwise be obtained [3].

There are three groups of models of GIS

- Vector GIS.
- Raster GIS.
- Object-Oriented GIS.

1.1.1. Vector Model

This model, focus is on the location accuracy of the elements of the space. To modeling digitally real world entities using three spatial objects: the point, the line and the polygon on a mapping system. For example, satellite photographs.

1.1.2. Raster Model

A studied area is divided into small areas or array of square cells identical in size, and the "information" is stored in each bin for each attribute in the database, for example, contours. A greater number of rows and columns in the grid (higher resolution), will involve more effort in the process of capturing information and more computational cost to process it.

1.1.3. Object-Oriented Model

While data modeling vector and Raster model, organize their information through of layers, object-oriented systems try to organize geographic information from geographical object itself and its relationships with others. Thus, the geographic objects are subject to a number of processes and are grouped into classes, introducing a dynamic character to the information in the system. For this reason, the object-oriented model is more suitable for situations where the nature of the objects that try to model is changing in the time and/or space. The key advantage that allows this data structure compared to the other is that from a number of parameters in the behavior

of geographic objects is possible to simulate the evolution. Because it is so versatile, the area of application of geographic information systems is very broad, can be used in most activities with a spatial component [4].

That is why precisely this model was used in this paper for analyzing the behavior of the power levels radiated from the Node B to user stations. Adding a layer of the vector model (Satellite photograph of the study area) as shown in **Figure 1**, is to obtain a clear idea of the obstacles in the propagation of the signal.

2. Methodology for the Generation of GIS

To have an efficient coverage analysis, is essential that the process of creation of the coverage maps meet a set of basic criteria, ensuring the reliability and usefulness of the information contained in the system. These design criteria are shown in the following sections.

2.1. Data Selection

For this work, the latitude and longitude were selected as a geographical reference of the system, and the CPICH power level as an attribute, because through the measurement of this power level, the user terminal is able to establish a comparison between the Node B closer, and decide which of them will provide the best service. This will allow that the user station know which is the dominant pilot that would define the coverage area.



Figure 1. Satellite photograph of the study area obtained from Google Earth.

2.2. Measurement Process

Using a spectrum analyzer, we obtained a total of 1519 measurement, separate approximately three meters, in the area shown in **Figure 1**, whose surface is about 0.7 Km². In each measurement the spectrum analyzer was placed at a height between 1.10 and 1.30 meters, since it is the average height to which the user carries his mobile equipment. To know the location information of each measurement requires a GPS Antenna (Global Positioning System). The measuring equipment requires at least pick up the signal from four different satellites to ensure accurate location information of the sample [5].

2.3. Storage or Pre-Processing Data

The measuring equipment has an internal memory, which allows storing each measurement, and then are copied either through USB port or by networking computer equipment through Ethernet port. From the files obtained, the useful information is extracted with an in program language C++ and settles into a text file as shown in **Figure 2**. In which the data are arranged in descending using criteria column longitude.

2.4. Data Processing

Data processing is performed to obtain useful information from data previously entered into the system. At this point coverage continuous maps are generated through “**EasyKrig**” which is a software application implement on MatLab software platform, this makes the prediction of power levels continuously using Krige Method initially developed by Daniel G. Krige in an attempt to more accurately predict more reserves through an algorithm of least squares regression, which from an experimental semivariogram establishing how similar are the points in space as they are furthest from the Node B. Subsequently, the behavior of the power is modeled by a previously known function, which is called the experimental semivariogram. This will evaluate the power of the CPICH at any point in the simple space. To ensure the effectiveness of the prediction is needed a validation process; included in the application of “**EasyKrig**” (as shown in the **Figure 3**) in which the approximation error is within the acceptance region determined by the variability of the measurement power.

The number of measurements needed to ensure a correct prediction of the measured power levels, depend on the range of variability that this power. That is to say, if the power is very variable, must make a greater number of measurements that when the power does not change quickly. Knowing the function most appropriate to the

LONGITUD	LATITUD	CPICH
-99.13472222	19.49777778	-82.553
-99.13472222	19.49777778	-80.167
-99.13472222	19.49777778	-83.676
-99.13472222	19.49805556	-88.068
-99.13472222	19.49833333	-84.118
-99.13472222	19.49833333	-85.757
-99.13472222	19.49833333	-88.932
-99.13472222	19.49861111	-86.631
-99.13472222	19.49861111	-83.616
-99.13472222	19.49861111	-79.743
-99.13472222	19.49888889	-82.326
-99.13472222	19.49916667	-86.039
-99.13472222	19.49944444	-84.787
-99.13472222	19.49972222	-85.6
-99.13472222	19.49972222	-87.987
-99.13472222	19.49972222	-81.967
-99.13472222	19.50027778	-81.457
-99.13472222	19.50027778	-86.443
-99.13472222	19.50083333	-88.63
-99.13472222	19.50083333	-89.686
-99.13472222	19.50111111	-91.257
-99.13472222	19.50111111	-89.88
-99.13472222	19.50166667	-93.867
99.13472222	19.50166667	-91.075
-99.13472222	19.50166667	-88.946
-99.13472222	19.50194444	-92.528
-99.13472222	19.49583333	-59.089
-99.13444444	19.49583333	-64.401
-99.13444444	19.49583333	-61.553
-99.13444444	19.49583333	-61.553
-99.13444444	19.49583333	-59.87

Figure 2. Data file format.

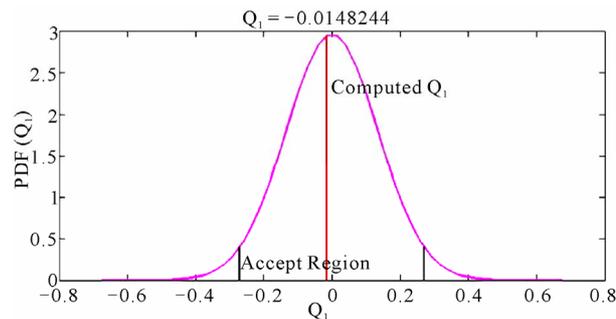


Figure 3. Graphical validation process Krige Method using the software tool “EasyKrig”.

behavior of the measured power level the information is plotted so that the axes are defined by geographical coordinates, and the power level determines the color which represents the sample, as shown in **Figure 4**, forming the second layer to superimpose.

2.5. Production Data

After data processing, we have two layers; satellite photography of the study area and the coverage map. These overlap to produce new data, as obstacles in propagation, the ratio of distance/attenuation of the signal, radiation pattern of transmitting antenna, to name a few. The result

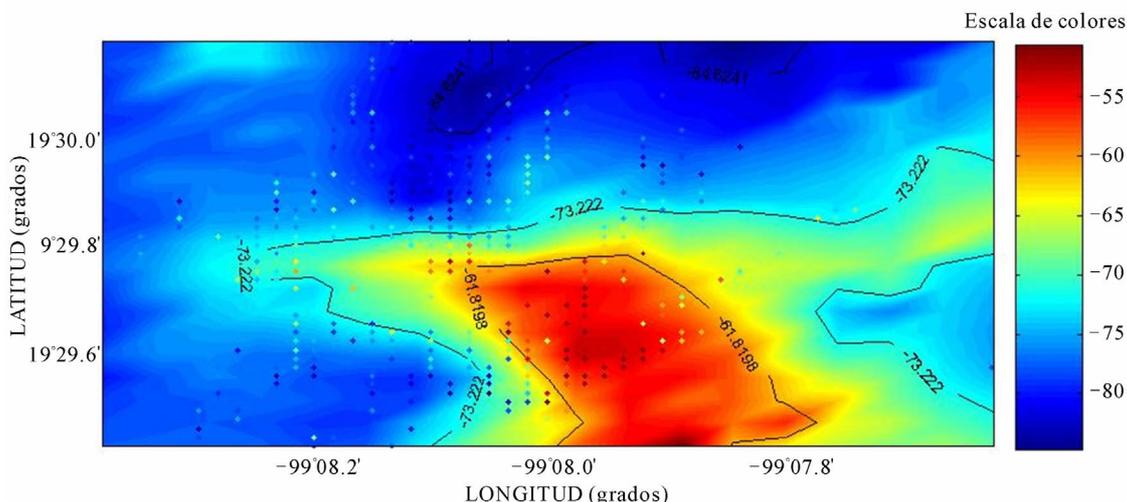


Figure 4. Continuous maps of the power levels.

of the overlay is shown in **Figure 5**.

Because different Base Stations were radiating towards the area of interest, added more layer to GIS, allowing analysis expands the possibilities, because the process information of each base station in a different layer, thanks to the measuring equipment can identify each SC, it is possible to study interference between adjacent cells, as shown in **Figure 6**.

3. Results

In each layer of the information system were analyzed separately each of the main base stations that provide service in the study area. This allowed a deeper analysis. For example in **Figure 5**, we can notice that as the signal collides with building of different heights suffers attenuation proportional to the height of the same. We can explain why there is an increase in power in the upper left of **Figure 5**; this is due to the effect of multipath propagation, in third generation cellular systems by the type of media access is a favorable effect on propagation environments contaminated.

On the other hand, **Figure 6** shows that the Pilot Dominance (strongest signal, indicating the possibility of providing better service) between two base stations with more influence in the radio signal has a conflict, since both radiate a power of similar intensity in the same area, causing the mobile device has a conflict in the choice of the base station will provide service.

Using a SIG in this work is possible to know the configuration of the segmentation of the base station antennas, as shown in **Figure 7**. And indirectly shows the areas where the call will transfer smoothly, because they will not switch to another base station, just the call is transferred to another base station sector.

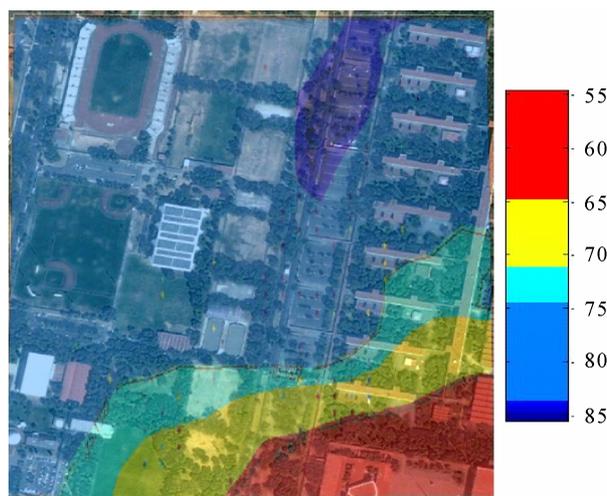


Figure 5. CPICH power distribution in dBm.

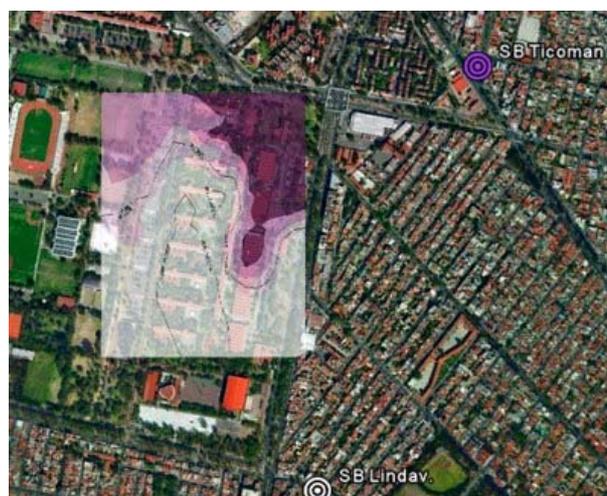


Figure 6. Comparison of the coverage area of two Base Stations.

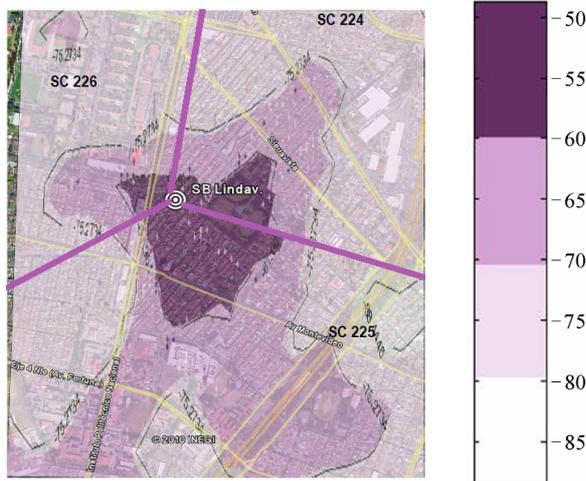


Figure 7. CPICH power distribution for the sectors of the Base Station identified by the SC 224, 225, 226 [dBm].

4. Conclusions

The rapid growth of cellular networks in Mexico and throughout the world with the aim of providing more benefits to users, causing the cell outline is saturated, creating problems such as interference between base stations. Conflict can be avoided with adequate coverage analysis. It is at this point that GIS are useful, as a perfect complement for different types of information about

a specific geographic area to obtain information not previously known,

- As the coverage area of each base station system for purposes of interference analysis and transfer areas,
- Obstacles in the signal propagation,
- Multipath propagation effects,
- Pilot pollution, etc.

Number of parameters that can be studied depends on the capabilities of the measuring equipment, and existing vector model of GIS for the area in question, such as satellite images, contour surveys, hydrographic, etc.

5. References

- [1] T. Keji, "WCDMA Mobile Communications System," John Wiley & Sons, New York, 2002.
- [2] L. Jaana and W. Achim and N. Tomás, "Radio Network Planning and Optimization for UMTS," Segunda Edición, Editorial John Wiley and Sons, New York, 2006.
- [3] "Geographic Information Systems." http://www.inbio.ac.cr/es/inbio/inb_sig.htm
- [4] "Geographic Information System in the Management of Natural Hazards." <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea65s/ch10.htm>
- [5] "Practical Tips on WCDMA Measurements, Application Note No. 11410-00378," Rev. B Printed in United States 2008-09.

ANÁLISIS DE PARAMETROS DE CALIDAD DE SEÑAL TRANSMITIDA POR UN NODO B

Sonia Jazmín Ponce Rojas¹, Sergio Vidal Beltrán², José Iván Zamudio Castro³
Mariana Alejandra Eslava Gutierrez⁴

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, ESIME Zac.-IPN, México D.F., México
Teléfono (55) 5729-6000 ext. 54630 Y 54799 E-mail: ponce_jaz7@hotmail.com

RESUMEN

El presente trabajo presenta un análisis experimental del desempeño de un nodo B tomando en cuenta el canal piloto, multitrayectoria, nivel de potencia de la relación de energía de chip a interferencia E_c/I_o , la potencia de la señal de código.

INTRODUCCIÓN

WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) es una tecnología de tercera generación (3G) que incrementa las tasas de transmisión de datos mediante la interfaz de aire a través del Acceso Multiple por División de Código, en vez del Acceso Multiple por División de Tiempo de los sistemas GSM. En un sistema de comunicación de acceso múltiple varios usuarios desean acceder al canal al mismo tiempo.

WCDMA es una tecnología de secuencia directa de espectro ensanchado (*Spread Spectrum*), que expande las señales sobre un ancho de banda de 5 MHz ocultándolas en el ruido presente en el canal, y tiene la capacidad de portar simultáneamente voz y datos. Brinda altas tasas de transferencia, soporte eficiente del tráfico asimétrico, transmisión mediante conmutación de paquetes a través de la interfaz de radio y una alta eficiencia en la utilización del espectro.

La Estación Base (BS) conocida también como nodo B; es parte de la Red de Acceso de Radio Terrestre de UMTS (UTRAN). El Nodo B tiene como tareas fundamentales realizar la transmisión y recepción de la señal de radio, filtrado de la señal, amplificación, modulación y demodulación de la señal y ser una interfaz hacia el Controlador de Radio de la Red (RNC) [1].

El Canal Piloto Común (CPICH) transmite una portadora usada para estimar los parámetros del canal. Es la referencia física para otros canales. Es empleado para el control de potencia, transmisión y detección coherente, la estimación de canal, medición de celdas adyacentes y obtención del código de mezclado (*Scrambling Code SC*) [2].

A pesar de recibir un nivel de potencia alto, la comunicación puede ser pobre a causa del efecto de interferencia. En estas situaciones, UMTS es más tolerante que GSM y la interferencia, en lugar de producir una desconexión en la comunicación, conduce a una reducción de la tasa de transmisión. Esto, sin embargo, produce una carga adicional en el canal de radio.

La potencia se divide en diferentes caminos (*paths*) los cuales, dependiendo de la calidad del receptor *Rake* incluido en el teléfono móvil, proporcionan un mayor o menor número de componentes de señal. En el caso de obtener diferentes retardos de señal (*delays*), la ortogonalidad de los códigos transmitidos por una estación base se desvanece. Esto causa en todas las señales enviadas por la estación, y en particular en las señales de otros abonados, una interferencia muy fuerte en móviles que soportan recepción multitrayecto. [3]

El RSCP es el valor de la energía después del proceso de correlación/separación, usualmente en dBm y debe ser medido para cada código específicamente. Denota la potencia medida por un receptor en un canal físico de comunicaciones en particular. Se utiliza como indicador de la intensidad de la señal, como un criterio de entrega en el control de enlace descendente de energía y para el cálculo de pérdidas por trayectoria. Esta potencia de código es de interés para las siguientes etapas del receptor solamente para juzgar la calidad de la recepción. Y únicamente puede ser medido una vez que el receptor encontró el piloto dominante.

DESARROLLO

Configuración de la Medición

Para realizar las mediciones se utilizó un analizador de espectro con rango de frecuencia de 9 kHz a 7.1 Ghz que cuenta con aplicaciones de software para llevar a cabo el análisis de la señal WCDMA. El analizador de espectro tiene una especificación de Nivel de Ruido Desplegado Promedio DANL <-163 dBm, en un ancho de banda de resolución de 1 Hz a 1 GHz. El analizador, a

ROC&C'2010 - CM-28 PONENCIA RECOMENDADA
POR EL **COMITÉ DE COMUNICACIONES**
DEL **IEEE SECCIÓN MÉXICO** Y PRESENTADA EN LA
REUNIÓN DE OTOÑO, ROC&C'2010, ACAPULCO, GRO.,
DEL 28 DE NOVIEMBRE AL 4 DE DICIEMBRE DEL 2010.

través de las aplicaciones de software enfocadas al análisis de la tecnología WCDMA/HSDPA.

Se realizaron mediciones “A través de aire” en el área seleccionada, la cual, se muestra delimitada por un cuadro en color rojo en la **Figura 1**. La portadora de frecuencia con un valor de $f_c=887.5$ MHz empleada para este análisis, pertenece a la Banda V de canales adicionales de WCDMA del Enlace de Bajada. Para realizar las mediciones, se utilizó una antena omni-direccional que opera en la banda de frecuencia de 870 a 960 MHz, conectada en el puerto de entrada de RF del instrumento. En la **Figura 2** pueden observarse las ubicaciones que tienen las cinco Estaciones Base -Nodos B- más cercanos al área de estudio. El área definida está conformada por distintas construcciones representativas por su altura, como son, los 9 edificios con estructura alargada de 3 pisos –aproximadamente de 13.0 metros de altura- ubicados de oriente-oponiente, un edificio adyacente, perpendicular a éstos 9, con una orientación norte-sur –con la misma altura-, el auditorio con una altura aproximada de 13 metros, la biblioteca, el planetario, y la zona deportiva en la que también se encuentra un estadio con una altura de 6 metros.



Figura 1 Área de análisis

Todas las mediciones se realizaron con el equipo de medición colocado a una altura de 1 metro y 10 cm sobre el nivel del piso y desplazándose con él a pie por los exteriores de las construcciones del área determinada. De esta forma se considera la altura promedio en que los usuarios hacen uso de sus Terminales Móviles o modems inalámbricos de tecnología WCDMA en los corredores, pasillos, áreas verdes y de esparcimiento, así como también en el área de estacionamientos.

Al tiempo que se obtenían las mediciones, fue necesario contar con la información geo-referenciada en el punto en donde se realizaban las mediciones. Para agregar esta información de posición en cada

una de ellas, se activó la funcionalidad de GPS que se encuentra ubicada en el menú de “Sistema” del analizador de espectro y se conectó la antena de GPS en el conector disponible para este propósito, localizado en el panel superior de conectores del analizador indicado. Esta funcionalidad requiere que la antena GPS se encuentre en exteriores y esperar unos cuantos minutos para que consiga rastrear al menos 4 satélites y así poder contar con la información de posición Latitud, Longitud, Altitud y Tiempo.



Figura 2 Ubicación de estaciones bases que cubren la Unidad Profesional Adolfo López Mateos

Para analizar el funcionamiento y desempeño del Nodo B, se eligieron los siguientes parámetros

- ✓ Distribución de potencia del CPICH
- ✓ Multitrayectorias
- ✓ RSCP
- ✓ E_c/I_o

En las secciones siguientes se citan los resultados de las mediciones de estos parámetros.

Mediciones de CPICH

Cuando un receptor UMTS se sincroniza con una estación base, busca el canal piloto que es específico de esa estación el cual está modulado en QPSK con una tasa de chip de 3.84 Mcps. Su contenido se repite cada 10 ms. Con excepción de la correlación cruzada, el filtro en el receptor suprime el resto de señales aproximadamente 10 dB más que un filtro estándar y, de este modo, permite la sincronización con un rango mejorado en 10 dB.

Se encontraron 5 estaciones base radiando con una potencia considerable el área de estudio (Figura 2). De las 1519 mediciones realizadas 669 pertenecen a los pilotos dominantes, de las cuales 509 son del Scrambling Code 226. Es decir, la estación base con los sectores pertenecientes a los SC 224, 225 y 226 es la estación principal, la cual será llamada estación base Lindavista. De acuerdo a la **Figura 3** y al contenido de la **Tabla 1** se puede apreciar que el SC 246 es el que produce la mayor interferencia, ya que es el segundo SC con mayor número de incidencias.



Figura 3 Nivel de potencia de CPICH del SC 246

Tabla 1 Incidencia de piloto dominante

SC	181	217	224	226	245	246	249	252
Piloto Dom.	15	12	3	509	3	117	1	9

Mediciones de Multitrayectoria

Posteriormente se realizaron 280 mediciones de RSCP, se encontraron 1382 trayectorias, por las cuales la señal se propaga. El SC 226 tiene el mayor número de multitrayectorias, como se muestra en la **Tabla 2** ya que es el SC con mayor aparición de potencias de CPICH.

Tabla 2 Número de multitrayectorias por SC

SC	165	181	192	226	246
RSCP	6	18	6	877	482

La relación señal a interferencia en UMTS establece las constantes físicas del proceso de correlación. Dentro de las regiones de cobertura, la interferencia es en parte dominada por el nivel recibido de la estación cercana. Por lo tanto, el RSCP mínimo puede ser mucho mayor a la sensibilidad del receptor en esas áreas.

Mediciones de RSCP

Una estación de usuario normalmente recibe señales de múltiples estaciones base, con un alto RSCP, el inicio de sesión no es posible, debido a los altos niveles de interferencia de las estaciones base cercanas. Este efecto es llamado "Contaminación de pilotos" por lo cual los planificadores de redes tratan de evitar cerrar el espaciamiento entre estaciones base para minimizar las regiones donde esto puede ocurrir.

En la **Figura 4** se muestra la distribución de potencia de los niveles de RSCP medidos para el piloto dominante en la zona de cobertura. Naturalmente los niveles de potencia son mayores en el

área más cercana a la Estación Base. Sin embargo en la parte superior izquierda de la **Figura 4** se aprecia el incremento de potencia debido a las múltiples trayectorias de propagación de la señal, ya que al ser los obstáculos más irregulares en dicha zona los fenómenos de reflexión y difracción se presentan de manera menos uniforme.

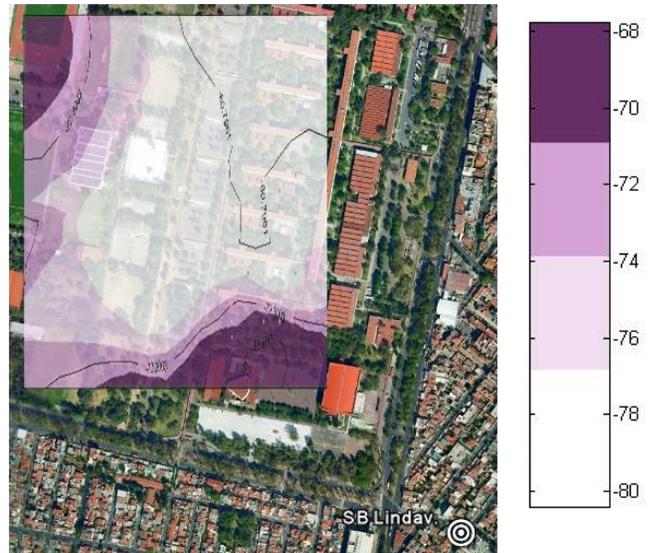


Figura 4 Distribución de potencia del RSCP para el SC 226 en dB

Mediciones de distribución de potencia CPICH

La **Figura 5** muestra los niveles de potencia radiada de CPICH por cada uno de los sectores de la Estación Base Lindavista. En esta se realiza una apreciación de las zonas de cobertura de cada sector. Con base en las mediciones obtenidas en un recorrido alrededor del Nodo B Lindavista es posible verificar la cobertura que cada uno de los sectores tiene, es claro que el SC 226 es el que da servicio a la Unidad profesional Adolfo López Mateos. Confirmando que la interferencia generada por los otros dos sectores de la misma Estación base es mínima. Aunque la distribución de potencia es muy irregular, se logra cubrir con niveles de potencia aceptables aproximadamente 1 Km a la redonda de la Estación Base.



Figura 5 Distribución de potencia CPICH BS Lindavista en dBm

La **Figura 6** muestra la distribución de potencia en particular para el SC 226, que es el piloto dominante en la mayor parte de la zona de interés. Tomando en cuenta que la sensibilidad de la mayoría de los equipos móviles disponibles en el mercado es de -80dBm. Los niveles encontrados en las mediciones son aceptables, pues en las fronteras de la zona de cobertura mostrada en la **Figura 5** apenas se alcanzan estos niveles.



Figura 6 Distribución de potencia de CPICH para el SC 226 en dBm

Mediciones de Interferencia

La interferencia es típicamente cuantificada por la energía por chip de la potencia total recibida (E_c/I_o) del CPICH, en otras palabras, que tan clara es la señal recibida.

E_b/N_o es la relación de energía por bit a interferencia después del desensanchamiento. Este valor es el que tiene efecto directamente sobre la tasa de bit erróneo.

E_c/I_o es definida únicamente por el canal piloto, se mide antes del desensanchamiento, todos los canales contribuyen con la potencia total de I_o . E_b/N_o es la energía por bit a densidad espectral de ruido, es la relación señal a (ruido + interferencia) después del desensanchamiento, de algunos canales excepto el piloto. Después del desensanchamiento dichos canales no contribuirán a la interferencia. La energía de diferentes multitrayectorias no será sincronizada y entonces presentará una fuente de interferencia contribuyendo a N_o .

Existe una relación uno a uno entre E_c/I_o del piloto y E_b/N_o del canal de tráfico. En un punto en particular, el valor de E_c/I_o es casi constante, pero el valor de E_b/N_o cambia constantemente debido al enlace adelantado del control de potencia.

El valor de E_c/I_o debe ser de -9dB o mayor en más del 95% del área de cobertura, como se muestra en la **Figura 7**, para que un UE quede asociado a un Nodo B y establezca en una llamada de voz.

De acuerdo a la **Tabla 3**, el SC 226 es el que en todo momento tiene mayores posibilidades de que el terminal conecte y

los Nodos B vecinos lo único que hacen es generar ruido e interferencia en el sistema. Como puede verse el SC 225 no presenta ningún valor arriba de -9 dB lo que significa que una llamada de voz no podría establecerse aunque está presente en el área con valores menores a -9 dB, lo que es entendible ya que pertenece un sector contiguo a 226 de Lindavista. El siguiente SC con mayor probabilidad de conexión es el 246 en el extremo Norte del área.

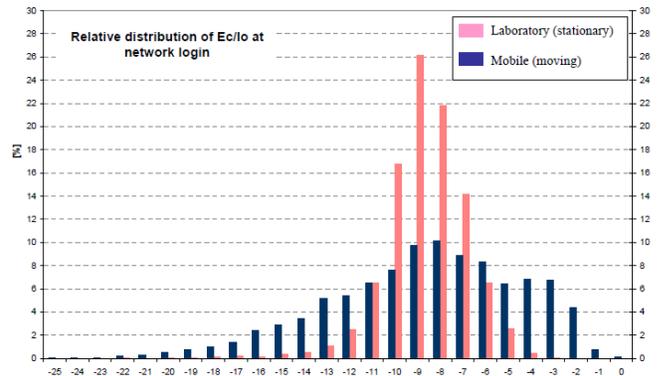


Figura 7 Pruebas de valores ideales de parámetros de calidad. [3]

Tabla 3 Análisis de valores útiles de E_c/I_o

Valores de E_c/I_o	SC 226	SC 217	SC 181	SC 246	SC 249	SC 252	SC 245
Menores a -9 dB	188	179	76	130	95	117	121
Mayores o iguales -9 dB	404	17	11	100	2	3	0

En la **Figura 8** se muestra la distribución de potencia de los niveles de E_c/I_o . Cabe resaltar que aunque la **Figura 6** establece una zona de cobertura de mayores dimensiones para el SC 226, el área mostrada en la **Figura 8**, es en realidad, la zona donde podrá iniciar la sesión fácilmente, ya que es ahí donde se cumple con la condición de que $E_c/I_o > -9$ dB para que la interferencia no demerite la calidad del enlace.

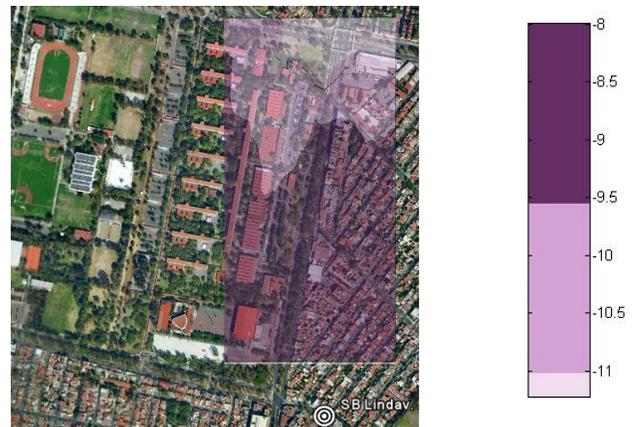


Figura 8 Distribución de potencia de E_c/I_o en dB

La relación entre RSCP y E_c/I_o es sumamente importante para la calidad de la carga del sistema. La degradación de la E_c/I_o es un indicador del incremento de la interferencia de otra célula, como se ilustra en la **Figura 9**. Donde en azul se observa la relación entre RSCP y E_c/I_o para una Estación Base, mientras que en amarillo se aprecia para 3 estaciones base cercanas.

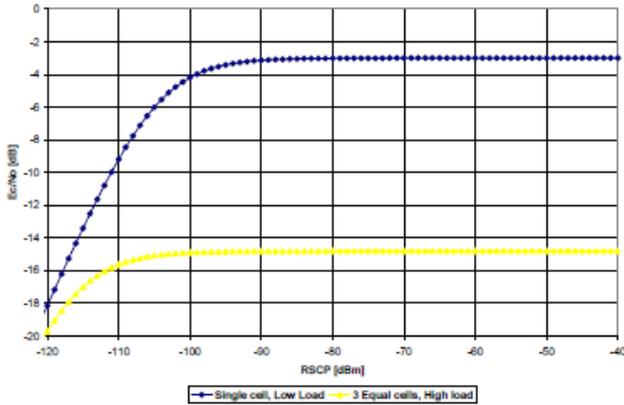


Figura 9 Relación entre los valores de RSCP y E_c/I_o [4]

En pruebas de laboratorio se ha encontrado que:

- $E_c/I_o > -9$ dB [4]
- RSCP > -114 dBm [4]
- RSSI > -106 dBm [4]

El compromiso entre cobertura y capacidad en los sistemas WCDMA hace de esta una red inteligente, capaz de modificar su área de cobertura, en función del número de usuarios presentes, su prioridad, así como la cantidad de tráfico cursado. La predicción del área de cobertura siempre se basa en ciertos valores de RSCP o E_c/I_o .

CONCLUSIONES

El crecimiento de las redes celulares en México como en todo el mundo ha sido estrepitoso, de forma tal, que en la búsqueda de un mayor número de beneficios para los usuarios el esquema celular se ha saturado, provocando problemas tales como la interferencia entre estaciones base a pesar del uso de una frecuencia única en todo el sistema. La degradación de la E_c/I_o es un indicador del incremento de la interferencia de otra célula. Esto es el compromiso entre cobertura y capacidad en los sistemas WCDMA. Y es justamente esta dependencia lo que hace de WCDMA una red inteligente, pues tiene la capacidad de modificar su cobertura en función de los usuarios y la potencia radiada por otras estaciones base.

Al ser una técnica de espectro ensanchado WCDMA tiene diferentes parámetros para medir la señal recibida, antes y después del proceso de desensanchado y correlación de la señal en cada uno de los *Fingers* del receptor *Rake*.

A pesar de recibir un nivel de potencia alto, la comunicación puede ser pobre a causa del efecto de interferencia que conduce a una reducción de la tasa de transmisión, produciendo una carga adicional en el canal de radio.

El nivel de potencia del CPICH determinará la estación base que dará servicio a la estación de usuario, sin embargo esto no garantiza que la interferencia provocada por el resto de las estaciones base cercanas estará dentro del rango aceptable para establecer la sesión.

Aunque la potencia de CPICH para un SC específico sea la necesaria para ser detectada por una unidad móvil el área efectiva de cobertura se reduce considerablemente cuando se toma en cuenta el valor de E_c/I_o .

Si se abusa del recurso de sectorización de las antenas, la interferencia generada será de tal magnitud que los beneficios serán imperceptibles.

Después de las mediciones realizadas cabe resaltar que en aquellas zonas donde el valor de RSCP es cercano a los -114 dBm la potencia del CPICH es también mayor por lo que en consecuencia al valor del la relación E_c/I_o también crece. Es decir, el efecto de la interferencia cerca de la estación base Lindavista no afecta perceptiblemente ni la calidad de la señal recibida, ni el tráfico transportado en dicha señal.

Conforme se aumenta la distancia de la Estación Base Lindavista, se ve un incremento en el efecto de la interferencia, mayormente causada por el sector identificado con el SC 246. Es por ello que en la Figura 7 la distribución de potencia mostrada no cubre la misma superficie que la Figura 6, la cual muestra niveles aceptables de RSCP y CPICH.

BIBLIOGRAFIA

[1] Tachikawa, Keji, WCDMA Mobile Communications System, John Wiley & Sons, 2002.

[2] Laiho Jaana and Wacker Achim, Novosad Tomás, Radio Network Planning and Optimization for UMTS, Segunda Edición, Editorial John Wiley and Sons, 2006.

[3] UMTS Coverage Measurements
Electronic Communications Committee (ECC) within the
European Conference of Postal And Telecommunications
Administrations (CEPT)
Ecc Report 103, Mayo 2007

[4] WCDMA Network Planning And Optimization
80-W0853-1, Revision B
QUALCOMM, Mayo 2006

CURRICULUM VITAE

I. Antecedentes personales

Nombre: Sonia Jazmín Ponce Rojas
CURP: PORS870612MDFN00
Fecha de Nacimiento: 12 de Junio de 1987
Edad: 23 años
Nacionalidad: Mexicana
Estado Civil: Soltera
Teléfono: 044 55 18 26 23 43
E-Mail: ponce_jaz7@hotmail.com



II. Antecedentes Académicos

1993 - 1999 **Esc. Primaria Profesor Idelfonso Velázquez Ibarra (Nezahualcóyotl, Edo. de México)**
Educación Primaria

1999 - 2002 **Esc. Secundaria Federalizada Teotihuacán (Nezahualcóyotl, Edo. de México)**
Educación Secundaria

2002 - 2005 **Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No. 3 “Estanislao Ramírez Ruiz” del IPN (Ecatepec, Edo. de México)**
Educación Media

2005 - 2009 **Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del IPN (México, Distrito Federal)**
Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica
Titulo en trámite
Educación Superior

2010 **Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del IPN (México, Distrito Federal)**
Maestría en Ciencias en Ingeniería de Telecomunicaciones
Estudiante
Posgrado

III. Idiomas

Inglés 65%

IV. Otras actividades e Intereses

- **Deportes**
- **Música**
- **Literatura**
- **Participación en Ponencias en congresos nacionales**

ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE UN NODO B

Sonia Jazmín Ponce Rojas¹, Sergio Vidal Beltrán², José Iván Zamudio Castro³
Mariana Alejandra Eslava Gutierrez⁴

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, ESIME Zac.-IPN, México D.F., México
Teléfono (55) 5729-6000 ext. 54630 Y 54799 E-mail: ponce_jaz7@hotmail.com

Resumen.- El presente trabajo presenta un análisis experimental del desempeño de un nodo B bajo la tecnología WCDMA; tomando en cuenta el canal piloto, multitrayectoria, el nivel de potencia de la relación de energía de chip a interferencia E_c/I_o , la potencia de la señal de código.

INTRODUCCIÓN

WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) es una tecnología de tercera generación (3G) que incrementa las tasas de transmisión de datos mediante la interfaz de aire a través del Acceso Multiple por División de Código, en vez del Acceso Multiple por División de Tiempo de los sistemas GSM. En un sistema de comunicación de acceso multiple varios usuarios desean acceder al canal al mismo tiempo. WCDMA es una tecnología de secuencia directa de espectro ensanchado (*Spread Spectrum*), esta tecnología expande las señales sobre un ancho de banda de 5 MHz ocultándolas en el ruido presente en el canal, y tiene la capacidad de portar simultáneamente voz y datos. WCDMA Brinda altas tasas de transferencia, soporte eficiente del tráfico asimétrico, transmisión mediante conmutación de paquetes a través de la interfaz de radio y una alta eficiencia en la utilización del espectro.

La Estación Base (BS) conocida también como nodo B; es parte de la Red de Acceso de Radio Terrestre de UMTS (UTRAN). El Nodo B tiene como tareas fundamentales realizar la transmisión y recepción de la señal de radio, filtrado de la señal, amplificación, modulación y demodulación de la señal y ser una interfaz hacia el Controlador de Radio de la Red (RNC) [1].

El Canal Piloto Común (CPICH) transmite una portadora usada para estimar los parámetros del canal. Es la referencia física para otros canales. Es empleado para el control de potencia, transmisión y detección coherente, la estimación de canal, medición de celdas adyacentes y obtención del código de mezclado (*Scrambling Code SC*) [2].

A pesar de recibir un nivel de potencia alto, la comunicación puede ser pobre a causa del efecto de interferencia. En estas situaciones, UMTS es más tolerante que GSM y la interferencia, en lugar de producir una desconexión en la comunicación, conduce a una reducción de la tasa de transmisión. Esto, sin embargo, produce una carga adicional en el canal de radio.

La potencia se divide en diferentes caminos (*paths*) los cuales, dependiendo de la calidad del receptor *Rake* incluido en el

teléfono móvil, proporcionan un mayor o menor número de componentes de señal. En el caso de obtener diferentes retardos de señal (*delays*), la ortogonalidad de los códigos transmitidos por una estación base se desvanece. Esto causa en todas las señales enviadas por la estación, y en particular en las señales de otros abonados, una interferencia muy fuerte en móviles que soportan recepción multitrayecto. [3]

El RSCP es el valor de la energía después del proceso de correlación/separación, usualmente en dBm y debe ser medido para cada código específicamente, denota la potencia medida por un receptor en un canal físico de comunicaciones en particular. Se utiliza como indicador de la intensidad de la señal, como un criterio de entrega en el control de enlace descendente de energía y para el cálculo de pérdidas por trayectoria. Esta potencia de código es de interés para las siguientes etapas del receptor solamente para juzgar la calidad de la recepción. Y únicamente puede ser medido una vez que el receptor encontró el piloto dominante.

Configuración de la Medición

Para realizar las mediciones se utilizó un analizador de espectro con rango de frecuencia de 9 kHz a 7.1 GHz que cuenta con aplicaciones de software para llevar a cabo el análisis de la señal WCDMA. El analizador de espectro tiene una especificación de Nivel de Ruido Desplegado Promedio DANL <-163 dBm, en un ancho de banda de resolución de 1 Hz a 1 GHz. El analizador, a través de las aplicaciones de software enfocadas al análisis de la tecnología WCDMA/HSDPA.

Se realizaron mediciones "A través de aire" en el área seleccionada interés, la cual, se muestra delimitada por un cuadro en color rojo en la figura 1. La portadora de frecuencia con un valor de $f_c = 887.5$ MHz empleada para este análisis, pertenece a la Banda V de canales adicionales de WCDMA del Enlace de Bajada. Para realizar las mediciones, se utilizó una antena omni-direccional que opera en la banda de frecuencia de 870 a 960 MHz, conectada en el puerto de entrada de RF del instrumento. En la figura 2 pueden observarse las ubicaciones que tienen las cinco Estaciones Base - Nodos B- más cercanos al área de estudio. El área definida está conformada por distintas construcciones representativas por su altura, como son, los 9 edificios con estructura alargada de 3 pisos "aproximadamente de 13.0 metros de altura" ubicados de oriente-poniente, un edificio adyacente, perpendicular a éstos 9, con una orientación norte-sur "con la misma altura", el auditorio con una altura aproximada de 13 metros, la biblioteca, el planetario, y la zona deportiva en la que también se encuentra un estadio con una altura de 6 metros.



Figura 1 Área de análisis

Todas las mediciones se realizaron con el equipo de medición colocado a una altura de 1 metro y 10 cm sobre el nivel del piso y desplazándose con él a pie por los exteriores de las construcciones del área determinada. De esta forma se considera la altura promedio en que los usuarios hacen uso de sus Terminales Móviles o modems inalámbricos de tecnología WCDMA en los corredores, pasillos, áreas verdes y de esparcimiento, así como también en el área de estacionamientos.

Ai tiempo que se obtenían las mediciones, fue necesario contar con la información geo-referenciada en el punto en donde se realizaban las mediciones. Para agregar esta información de posición en cada una de ellas, se activó la funcionalidad de GPS que se encuentra ubicada en el menú de "Sistema" del analizador de espectro y se conectó la antena de GPS en el conector disponible para este propósito, localizado en el panel superior de conectores del analizador indicado en []. Esta funcionalidad requiere que la antena GPS se encuentre en exteriores y esperar unos cuantos minutos para que consiga rastrear al menos 4 satélites y así poder contar con la información de posición Latitud, Longitud, Altitud y Tiempo.



Figura 2 Ubicación de estaciones bases que cubren la Unidad Profesional Adolfo López Mateos

Para analizar el funcionamiento y desempeño del Nodo B, se eligieron los siguientes parámetros

- ✓ Distribución de potencia del CPICH
- ✓ Multitrayectorias
- ✓ RSCP
- ✓ E_c/I₀

En las secciones siguientes se citan los resultados de las mediciones de estos parámetros.

Mediciones de CPICH

Cuando un receptor UMTS se sincroniza con una estación base, busca el canal piloto que es específico de esa estación y que está modulado en QPSK con una tasa de chip de 3.84 Mcps. Su contenido se repite cada 10 ms. Con excepción de la correlación cruzada, el filtro en el receptor suprime el resto de señales aproximadamente 10 dB más que un filtro estándar y, de este modo, permite la sincronización con un rango mejorado en 10 dB.

Se encontraron 5 estaciones base radiando con una potencia considerable el área de estudio (Figura 2). De las 1519 mediciones realizadas 669 pertenecen a los pilotos dominantes, de las cuales 509 son del Scrambling Code 226. Es decir, la estación base con los sectores pertenecientes a los SC 224, 225 y 226 es la estación principal, la cual será llamada estación base Lindavista. De acuerdo a la Tabla 1 se puede apreciar que el SC 246 es el que produce la mayor interferencia, ya que es el segundo SC con mayor número de incidencias.

Tabla 1 Incidencia de piloto dominante

SC	181	217	224	226	245	246	249	252
Piloto Dom.	15	12	3	509	3	117	1	9

Mediciones de Multitrayectoria

Posteriormente se realizaron 280 mediciones de RSCP, se encontraron 1382 trayectorias, por las cuales la señal se propaga. El SC 226 tiene el mayor número de multitrayectorias, como se muestra en la Tabla 2 ya que es el SC con mayor aparición de potencias de CPICH.

Tabla 2 Número de multitrayectorias por SC

SC	165	181	192	226	246
RSCP	6	18	6	877	482

La relación señal a interferencia en UMTS es un valor fijo y establece las constantes físicas del proceso de correlación. Dentro de las regiones de cobertura, la interferencia es en parte dominada por el nivel recibido de la estación cercana. Por lo tanto, el RSCP mínimo puede ser mucho mayor a la sensibilidad del receptor en esas áreas.

Mediciones de RSCP

Una estación de usuario normalmente recibe señales de múltiples estaciones base, con un alto RSCP, el inicio de sesión no es posible, debido a los altos niveles de interferencia de las estaciones base cercanas. Este efecto es llamado "Contaminación de pilotos" por lo cual los planificadores de redes tratan de evitar correr el espaciamiento entre estaciones base para minimizar las regiones donde esto puede ocurrir.

En la Figura 3 se muestra la distribución de potencia de los niveles de RSCP medidos para el piloto dominante en la zona de cobertura. Naturalmente los niveles de potencia son mayores en el área más cercana a la Estación Base. Sin embargo en la parte superior izquierda de la Figura 3 se aprecia el incremento de potencia debido a las múltiples trayectorias de propagación de la señal, ya que al ser los obstáculos más irregulares en dicha zona los fenómenos de reflexión y difracción se presentan de manera menos uniforme.

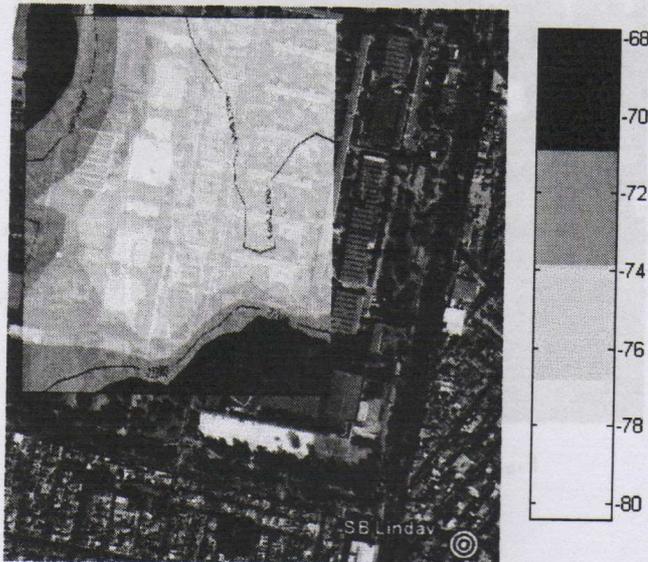


Figura 3 Distribución de potencia del RSCP para el SC 226 en dB

Mediciones de distribución de potencia CPICH

La Figura 4 muestra los niveles de potencia radiada por cada uno de los sectores de la Estación Base Lindavista. En esta se realiza una apreciación de las zonas de cobertura de cada sector. Es claro que el SC 226 es el que da servicio a la Unidad profesional Adolfo López Mateos. Confirmando que la interferencia generada por los otros dos sectores de la misma Estación base es mínima. Aunque la distribución de potencia es muy irregular, se logra cubrir con niveles de potencia aceptables aproximadamente 1 Km a la redonda de la Estación Base.



Figura 4 Distribución de potencia CPICH BS Lindavista en dBm

La Figura 5 muestra la distribución de potencia en particular para el SC 226, que es el piloto dominante en la mayor parte de la zona de interés. Tomando en cuenta que la sensibilidad de la mayoría de los equipos móviles disponibles en el mercado es de -80dBm. Los niveles encontrados en las mediciones son aceptables, pues en las fronteras de la zona de cobertura mostrada en la Figura 5 apenas se alcanzan estos niveles.



Figura 5 Distribución de potencia de CPICH para el SC 226 en dBm

Mediciones de Interferencia

La interferencia es típicamente cuantificada por la energía por chip de la potencia total recibida (E_c/I_o) del CPICH, en otras palabras, que tan clara es la señal recibida.

E_b/I_o es la relación de energía por bit a interferencia después del desensanchamiento. Este valor es el que tiene efecto directamente sobre la tasa de bit erróneo.

E_c/I_o es definida únicamente por el canal piloto, se mide antes del desensanchamiento, todos los canales contribuyen con la potencia total de I_o . E_b/I_o es la energía por bit a densidad espectral de ruido, es la relación señal a (ruido + interferencia) después del desensanchamiento, de algunos canales excepto el piloto. Después del desensanchamiento dichos canales no contribuirán a la interferencia. La energía de diferentes multitrayectorias no será sincronizada y entonces presentará una fuente de interferencia contribuyendo a N_o .

Existe una relación uno a uno entre E_c/I_o del piloto y E_b/N_o del canal de tráfico. En un punto en particular, el valor de E_c/I_o es casi constante, pero el valor de E_b/N_o cambia constantemente debido al enlace adelantado del control de potencia.

El valor de E_c/I_o debe ser de -9dB o mayor en más del 95% del área de cobertura, como se muestra en la Figura 6, para que un UE quede asociado a un Nodo B y establezca en una llamada de voz.

De acuerdo a la Tabla 3, el SC 226 es el que en todo momento tiene mayores posibilidades de que el terminal conecte y los Nodos B vecinos lo único que hacen es generar ruido o interferencia en el sistema. Como puede verse el SC 225 no presenta ningún valor arriba de -9dB lo que significa que una llamada de voz no podría establecerse aunque está presente en el área con valores menores a -9dB , lo que es entendible ya que pertenece un sector contiguo a 226 de Lindavista. El siguiente SC con mayor probabilidad de conexión es el 246 en el extremo Norte del área.

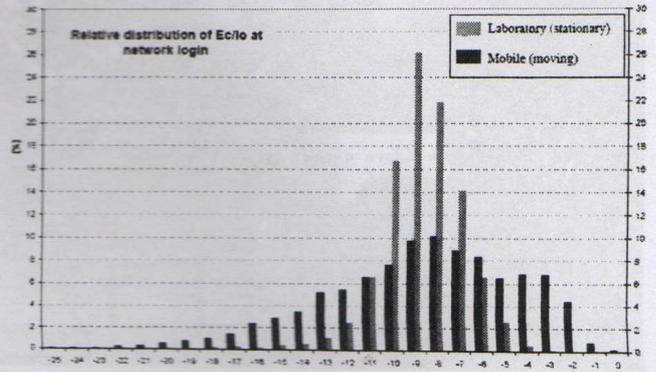


Figura 6 Pruebas de valores ideales de parametros de calidad. [3]

Tabla 3 Análisis de valores útiles de E_c/I_o

Valores de E_c/I_o	SC 226	SC 217	SC 181	SC 246	SC 249	SC 252	SC 245
Menores a -9dB	188	179	76	130	95	117	121
Mayores o iguales a -9dB	404	17	11	100	2	3	0

En la Figura 7 se muestra la distribución de potencia de los niveles de E_c/I_o . Cabe resaltar que aunque la Figura 5 establece una zona de cobertura de mayores dimensiones para el SC 226, el área mostrada en la Figura 7, es en realidad, la zona donde podrá iniciar la sesión fácilmente, ya que es ahí donde se cumple con la condición de que $E_c/I_o > -9\text{dB}$ para que la interferencia no domine la calidad del enlace.

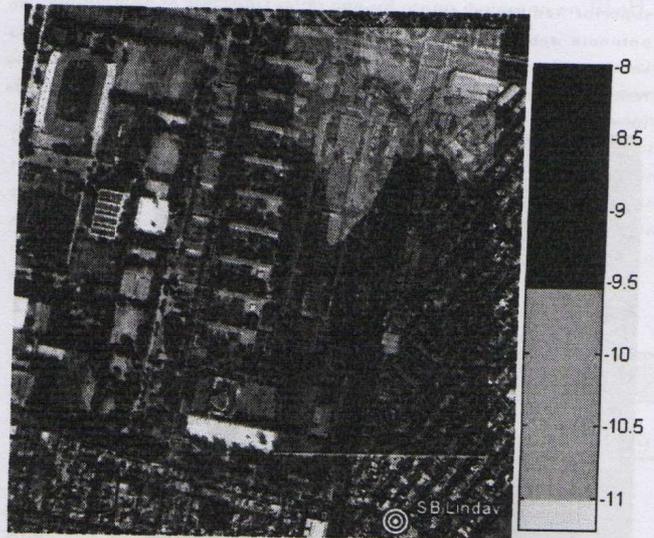


Figura 7 Distribución de potencia de E_c/I_o en dB

La relación entre $RSCP$ y E_c/I_0 es sumamente importante para la calidad de la carga del sistema. La degradación de la E_c/I_0 es un indicador del incremento de la interferencia de otra célula, como se ilustra en la Figura 8.

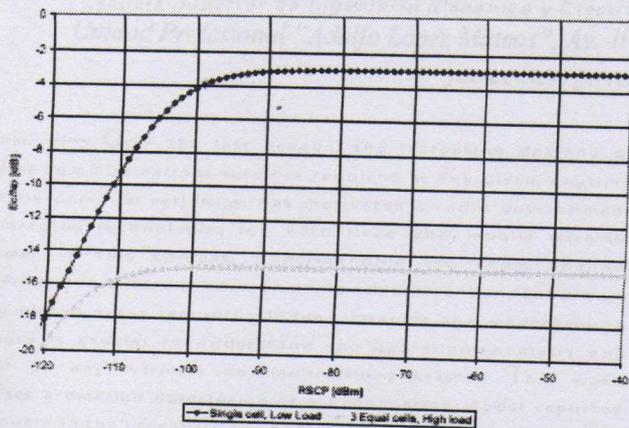


Figura 8 Relación entre los valores de $RSCP$ y E_c/I_0 [4]

En pruebas de laboratorio se ha encontrado que:

- $E_c/I_0 > -9$ dB (Figura 8)
- $RSCP > -114$ dBm (Figura 9)
- $RSSI > -106$ dBm (Figura 9)

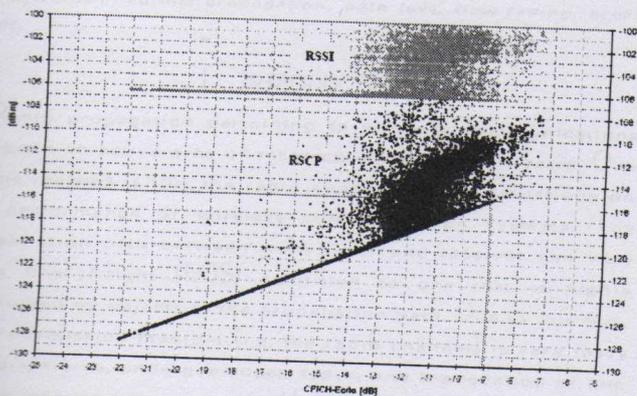


Figura 9 Análisis de valores para optimización de la red. [3]

Esto es el compromiso entre cobertura y capacidad en los sistemas WCDMA, como es demostrado en la Figura 10. Siendo justamente tal compromiso el que hace de esta una red inteligente, capaz de modificar su área de cobertura, en función del número de usuarios presentes. La predicción del área de cobertura siempre se basa en ciertos valores de $RSCP$ o E_c/I_0 .

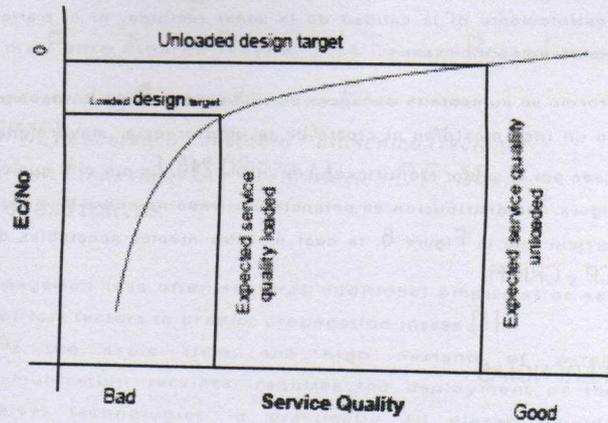


Figura 10 Dependencia de la QoS de E_c/I_0 [4]

CONCLUSIONES

El crecimiento de las redes celulares en México como en todo el mundo ha sido estrepitoso, de forma tal, que en la búsqueda de un mayor número de beneficios para los usuarios el esquema celular se ha saturado, provocando problemas tales como la interferencia entre estaciones base a pesar del uso de una frecuencia única en todo el sistema. La degradación de la E_c/I_0 es un indicador del incremento de la interferencia de otra célula. Esto es el compromiso entre cobertura y capacidad en los sistemas WCDMA. Y es justamente esta dependencia lo que hace de WCDMA una red inteligente, pues tiene la capacidad de modificar su cobertura en función de los usuarios y la potencia radiada por otras estaciones base.

Al ser una técnica de espectro ensanchado WCDMA tiene diferentes parámetros para medir la señal recibida, antes y después del proceso de desensanchado y correlación de la señal en cada uno de los *Fingers* del receptor *Rake*.

A pesar de recibir un nivel de potencia alto, la comunicación puede ser pobre a causa del efecto de interferencia que conduce a una reducción de la tasa de transmisión, produciendo una carga adicional en el canal de radio.

El nivel de potencia del CPICH determinará la estación base que dará servicio a la estación de usuario, sin embargo esto no garantiza que la interferencia provocada por el resto de las estaciones base cercanas estará dentro del rango aceptable para establecer la sesión.

Aunque la potencia de CPICH para un SC específico sea la necesaria para ser detectada por una unidad móvil el área efectiva de cobertura se reduce considerablemente cuando se toma en cuenta el valor de E_c/I_0 .

Si se abusa del recurso de sectorización de las antenas, la interferencia generada será de tal magnitud que los beneficios serán imperceptibles.

Después de las mediciones realizadas cabe resaltar que en aquellas zonas donde el valor de $RSCP$ es cercano a los -114 dBm la potencia del CPICH es también mayor por lo que en consecuencia

al valor del la relación E_c/I_0 también crece. Es decir, el efecto de la interferencia cerca de la estación base Lindavista no afecta perceptiblemente ni la calidad de la señal recibida, ni el tráfico transportado en dicha señal.

Contorno se aumenta la distancia de la Estación Base Lindavista, se ve un incremento en el efecto de la interferencia, mayormente causada por el sector identificado con el SC 246. Es por ello que en la Figura 7 la distribución de potencia mostrada no cubre la misma superficie que la Figura 6, la cual muestra niveles aceptables de RSCP y CPICH.

REFERENCIAS

[1] Tachikawa, Keji, WCDMA Mobile Communications System, John Wiley & Sons, 2002.

[2] Laiho Jaana and Wacker Achim, Novosad Tomás, Radio Network Planning and Optimization for UMTS, Segunda Edición, Editorial John Wiley and Sons, 2006.

[3] UMTS Coverage Measurements
Electronic Communications Committe (ECC) within the European Conference of Postal And Telecommunications Administrations (CEPT)
Ecc Report 103, Mayo 2007

[4] WCDMA Network Planning And Optimization
80-W0853-1, Revision B
QUALCOMM, Mayo 2006



SC	100	110	120	130	140	150
RSCP	100	110	120	130	140	150
CPICH	100	110	120	130	140	150

