

“Evaluación del Rendimiento de la Capacidad, Cobertura y Grado de Servicio para Redes de Acceso Inalámbricas CDMA2000 1x con Servicios de Voz, Basada en Herramientas de Drive-Testing”

Giovanny Fco. Maldonado F., Víctor H. Núñez B., Hans D. Zuberbühler M., Germán Vargas
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación,
Escuela Superior Politécnica del Litoral.
Km. 30,5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Guayaquil, Ecuador
gmaldona@fiec.espol.edu.ec; vnunez@conecel.com; hzuberbuehler@conecel.com;
gvargas@espol.edu.ec

Resumen

Este documento realiza un estudio evaluativo de las redes celulares y PCS con tecnología de acceso CDMA2000 1X, en la ciudad de Guayaquil. Determinando si las mismas cumplen con los indicadores de grado de servicio considerados por el organismo de Regulación y Control, dentro del área de estudio. Se identifican las zonas donde se presenta un alto índice de anomalías en el servicio, dados por caídas de llamadas y fallas de acceso. Se realiza el análisis sus causas y se proponen ajustes en los parámetros físicos o lógicos de la red de acceso, para puedan solucionar estos problemas. El presente estudio esta basado en análisis exhaustivo de los parámetros de la red de acceso, la información de estos parámetros se obtuvo al utilizar herramientas de medición de campo, conocidas como herramientas de Drive Test. Gracias a estas mediciones se pudieron elaborar mapas y estadísticas de los principales indicadores de calidad de servicio para redes de acceso CDMA2000 1X. De los análisis efectuados se pudo determinar como las operadoras de servicio de telefonía móvil, cumplen los lineamientos exigidos por la SUPTEL, dentro del área de estudio. Además del análisis de los problemas detectados se dan las sugerencias del caso para la realización de un estudio posterior mas completo, y que con esto se pueda aprovechar todo el potencial que tienen las herramientas de Drive Test al realizar el análisis de las anomalías detectadas en el servicio de telefonía móvil.

Palabras Claves: CDMA, Drive test, SUPTEL, Caídas de llamadas, Fallas de Acceso.

Abstract

This paper make a evaluative study of cellular networks with CDMA2000 1X access technologies in Guayaquil. It determinate if they complete with GoS's indicators considerate by the Control and Regulation Organism, inside the study area. It's possible to identify zones where shows high bad service index, caused by drop calls and access failures. Analyzing the causes and proposing changes in physical and logical parameters to resolve the problems. This study it's based on network access parameter's analysis, obtained by field measurement tools, called drive test tools. With this measurements has could elaborate maps and statistics for the principals quality of service indicators from a CDMA2000 1X access network. From the analysis could be determinate how the mobile service operators, complete the SUPTEL's rules inside the study area. Also, we do suggest for future studies, to get the better performance in the use of the drive test tools for the trouble analysis.

Keywords: CDMA, Drive test, SUPTEL, Drop calls, Access Failures.

1. Introducción

La planificación de un sistema celular, en particular para redes de acceso con tecnología CDMA, está en función de la capacidad y cobertura requerida para proveer a los usuarios un óptimo servicio. Este dimensionamiento debe estar acorde a las necesidades del mercado y conllevar un adecuado diseño de la cobertura y planificación de los códigos a ser utilizados de la red de radio implementada

El diseño y planificación de una red CDMA es realizado con la ayuda de herramientas de predicción u hojas de cálculo, en la cual generalmente es requiera la siguiente información:

- *Altura promedio de Antenas*
- *Presupuesto de Enlace*
- *Parámetros del Modelo de Propagación*
- *Área de Servicio a ser cubierta*
- *Población a ser servida (numero de potenciales usuarios del servicio)*

El resultado de estas herramientas de predicción es la información necesaria para implementar la red de acceso, tales como:

- *Cantidad de Sitios Celulares*
- *Radio de la Celda por morfología*
- *Capacidad General del Sistema*
- *Capacidad por Sector*

El proceso de implantar una red celular conlleva mucho más que la implantación y puesta en servicio del sitio, ya que es necesario un proceso de mediciones y ajustes continuos que permitan optimizar el desempeño de la red y permitir a los usuarios del servicio de voz la mejor calidad posible.

2. Procesos de optimización basados en indicadores del rendimiento y parámetros de calidad de servicio para redes de acceso inalámbricas CDMA2000 1x.

La optimización es el proceso de medir, analizar y realizar los cambios necesarios en los parámetros de una Red implementada, que tienen un impacto crítico en el desempeño de los servicios ofrecidos. La optimización de una Red se efectúa generalmente como respuesta a los siguientes casos:

- *Cambios en la Red por el crecimiento de números de usuarios*
- *Puesta en Operación de nuevas estaciones Base*
- *Incomodidad por parte de los usuarios de la Red por problemas en la Cobertura, Caída de llamadas.*
- *La necesidad de mejorar la capacidad y rendimiento, a consecuencia de la oferta de nuevos servicios por parte de las Operadoras de Servicio de Telefonía móvil*

Los objetivos que todas las operadoras deben de cumplir como mínimo, son los requerimientos estipulados por las normas y leyes exigidas por el ente de Regulación y Control de las Telecomunicaciones del país. En Ecuador la SUPTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones) ha establecido niveles de los parámetros técnicos de la Calidad de Servicio son los mostrados en la tabla 1

En el caso específico para las Operadoras de Servicios de Telefonía Móvil que tengan implementadas Redes de Acceso CDMA, los objetivos de optimización para los parámetros RF que ayudan a conservar los niveles adecuados de la Calidad de Servicio son los siguientes ¹⁴:

Tabla I: Niveles de los Parámetros de Calidad de

Parámetro de Calidad de	Nivel Requerido	Descripción
Reutilización de Frecuencias (Relación de Portadora a Interferencia)	≥ 17 dB	Sistemas Digitales
	≥ 24 dB	Sistemas Analógicos
Grado de Servicio del Canal de Acceso	$\leq 1\%$	
Grado de Servicio del Canal de Voz	$\leq 2\%$	
Grado de Servicio de las troncales hacia la Red Telefónica Pública	$\leq 1\%$	
Bloqueo de Llamadas transferidas (Handoff)	$\leq 2\%$	
Tasa de Caída de Llamadas	$\leq 2\%$	Estaciones que tengan celdas adyacentes que cubran todo su
	$\leq 5\%$	Estaciones que tengan celdas adyacentes que no cubran todo su perímetro
	$\leq 7\%$	Estaciones in celdas adyacentes
Tasa de Llamadas Completadas	$\geq 60\%$	Abonados Fijos
	$\geq 80\%$	Abonados Móviles

- *Asegurar un nivel de cobertura aceptable para los canales Piloto, Paginación, Sincronización, Acceso y Tráfico.*
- *Minimizar el número caídas de llamadas, Perdidas del canal de Paginación, fallas al intentar acceder a la Red*
- *Controlar el porcentaje general de los procesos Soft-Soft Handoff realizado por una, dos o tres vías.*
- *Proporcionar confiabilidad en los procesos de Hard-Handoff cuando existen la interacción entre Redes híbridas como es el caso de Redes CDMA-AMPS ó Redes Multibanda.*

2.1. Procesos de Optimización.

La calidad del servicio percibida por los usuarios es uno de los factores a ser tomados en consideración por los operadores. Estos niveles de percepción están definidos bajo los siguientes parámetros:

- Cobertura del Área de servicio
- Accesos Fallidos en llamadas Originadas y Terminadas
- Caída de llamadas
- Calidad de Voz.

El empleo de pruebas de Drive Testing, es una excelente manera para poder establecer la cobertura RF real, los niveles y fuentes de interferencia que estén presentes en la Red. Una visión general del proceso de optimización usando Drive Testing es descrita en la Figura 1.

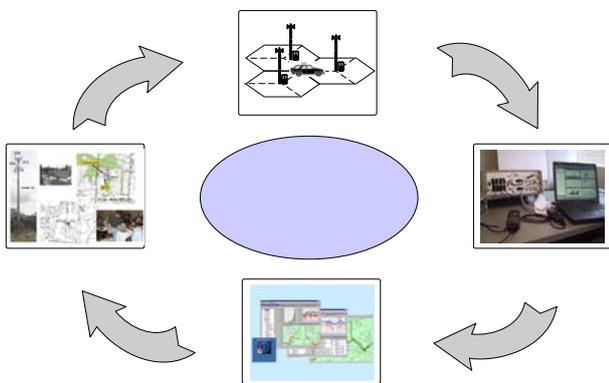


Figura 1: Procesos de Optimización Utilizando Herramientas de Drive Testing.

Dentro del proceso de Optimización de Redes de Acceso CDMA se tienen los siguientes problemas a ser resueltos¹:

- Fallas de Acceso Excesivas
- Caída de Llamadas Excesivas
- Interferencia en el Enlace Forward
- Velocidad de Hand-off lenta
- Manejar UN Óptimo Tamaño de la Ventana de Búsqueda de canales pilotos para los procesos de handoff.
- Soft Handoff excesivos
- Actualización de la lista de vecinos en la base de datos en cada estación base.
- Defectos en software, errores de comunicación en los protocolos.

Para la revisión de estos inconvenientes, se recolecta información de los parámetros de rendimiento RF por los equipos de drive testing y teléfonos de prueba, los cuales tienen la capacidad de mostrar la condiciones en los enlaces Forward y Reverse.

Ajustes a Realizar

¹ QUALCOMM INCORPORATED, CDMA 2000 Voice Network Optimization.

Estos parámetros son:

- Fuerza del Canal Piloto Ec/Io
- Tamaño de la Ventana de Búsqueda de Canal Piloto
- Potencia de Recepción en el Móvil
- Potencia de Transmisión del Móvil
- Ajuste de la Ganancia de Transmisión
- Tasa de Error de Trama FER.

3. Desarrollo de los procesos de Drive Testing y Post-Procesamiento

El Drive Test constituye una parte esencial en el ciclo de vida de una red, utilizado como un medio efectivo para la continua optimización de los parámetros del rendimiento en redes de acceso inalámbricas.

Existen dos objetivos en el drive test:

- Evaluación de nuevas celdas.
- Auditoria o benchmarking de una red existente.

El Post-Procesamiento consiste en la elaboración de tablas, estadísticas y mapas que presentan la información que ha sido recolectada mediante los recorridos realizados en el drive test.

Un sistema típico de Drive Testing incluye un receptor digital de RF, un móvil, una PC (comúnmente una portátil), un GPS, receptores y antenas.

3.1. Estrategias de Medición del Drive Testing.

Al realizar pruebas de Drive Test básicamente se pueden efectuar 2 tipos de mediciones:

Mediciones con un Scanner de RF, este tipo de medición toma muestras de los niveles de señal de RF de los canales celulares o PCSs seleccionados, con estas mediciones se determinan las zonas de cobertura y la propagación de las señales transmitidas por las BTSs. Este tipo de medición varía dependiendo de la tecnología inalámbrica utilizada en la Red de acceso, para el caso de Redes CDMA el parámetro a ser escaneado son los niveles del Ec/Io y los códigos PN usados en los canales Piloto.

Mediciones con un Terminal (Teléfono Móvil), este tipo de mediciones se las puede efectuar en dos estados Modo Idle y en Llamada.

Proceso de Optimización

Modo Idle: Permite determinar zonas de cobertura, ya que el teléfono móvil en este modo puede establecer los mejores pilotos servidores.

Post-Procesamiento

Modo Llamada: Nos permite palpar la percepción que tiene el usuario de la calidad del servicio ofrecido por la red de telecomunicaciones de la operadora, puesto que gracias a estos se pueden identificar y registrar eventos tales como caídas de llamadas, fallas de acceso y la calidad de la llamada.

Para el presente proyecto, se empleó la herramienta de drive test Invex 3G desarrollada por Grayson Wireless y Andrew Corporation. El equipo Invex 3G es una herramienta empleada para tomar mediciones que pueden ser empleadas en la planeación, mantenimiento, optimización y benchmarking de redes inalámbricas celulares y PCSs.



Figura 2: Equipo de Medición Invex 3G desarrollado por Grayson Wireless y Andrew Corporation.

Para nuestras mediciones el equipo Invex 3G fue usado con los elementos de hardware detallados en la tabla II:

Tabla 2: Hardware empleado en el Invex 3G

Cantidad	Descripción del Dispositivo	Función
1	Chasis GWMP4200	Licencias y Rad para tarjetas de medición
1	Tarjeta	Tarjeta con Slots para conexión de móviles
1	Teléfono Kyocera 3245	Mediciones Operadora A
1	Teléfono Kyocera 3225	Mediciones Operadora B
1	GPS	Tiempo de muestreo ≈ 1 s. Error = ± 20 m.

Las mediciones de la red fueron tomadas en ambas operadoras celulares que emplean la tecnología CDMA como su medio de acceso inalámbrico dentro de la ciudad de Guayaquil.

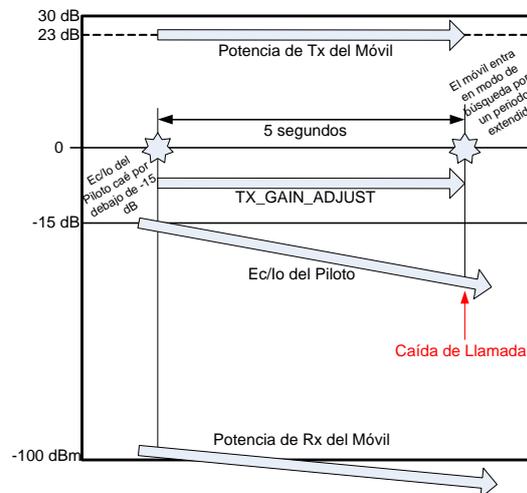
Para efecto de identificación, se definió simbólicamente a ambas como: operadora A y operadora B.

4. Análisis de resultados y mejoras propuestas para los problemas detectados en una red de acceso inalámbrica CDMA

Se establecieron, basados en las medidas tomadas en campo, 3 casos donde se observaron inconvenientes de caídas de llamadas y fallas de acceso.

Las caídas de llamadas fueron analizadas en dos escenarios independientes, ya que basados en los análisis del recorrido, se identificó que existían problemas generados por interferencia en el canal forward y por pobre cobertura en la zona a analizar.

Para establecer un análisis de pobre cobertura, tal como se observa en la figura 3, se considera el hecho de que los niveles de Ec/Io decaen por debajo del umbral necesario para asegurar buenas condiciones de calidad del servicio durante una llamada (-15 dB); además los niveles de la Potencia de recepción del teléfono móvil decaen por debajo de -100 dBm, teniendo como resultado una degradación en el FER.

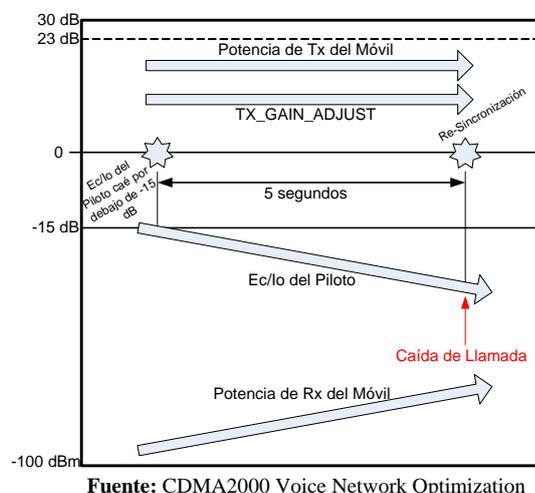


Fuente: CDMA2000 Voice Network Optimization

Figura 3: Niveles de los Indicadores para Análisis de Pobre Cobertura

En las condiciones de interferencia se observa que los niveles de Ec/Io decaen por debajo del umbral establecido para garantizar condiciones aceptables de servicio, definido en -15 dB (tal como se aprecia en la Figura 4). Además, se observa que los niveles de la Potencia de Rx en los usuarios son altos, alrededor de -80 dBm o muestran incrementos. Como consecuencia a las variaciones de estos parámetros se aprecia una

degradación en el FER; lo cual incide en la posterior caída de llamada.



Fuente: CDMA2000 Voice Network Optimization

Figura 4: Representación de los Indicadores en condiciones de interferencia.

Para mejorar las condiciones del escenario de caídas de llamadas a causa de interferencia, es necesario primero, el control de la propagación de las celdas lejanas. Estos ajustes dependerán de las características individuales de las antenas usadas en cada uno de los sitios, pero básicamente deberían consistir en ajustes de Down Tilt y de Altura de las Antenas.

El segundo paso consiste en la instalación de una nueva celda en el sector. Basándonos en la ubicación referencial de las celdas vecinas y de las condiciones geográficas del sector, se propone la colocación de la BTS. Cabe recalcar que el segundo paso solo será útil una vez que se haya realizado un buen control de propagación, puesto que de no ser así, seguirá existiendo interferencia y por lo tanto problemas de caídas de llamadas.

El proceso de análisis para las fallas de acceso conlleva un razonamiento un poco más detallado y complejo, dado que este problema no depende solamente de un análisis de los parámetros RF como se realizó en los casos anteriores, por tanto es necesario incluir un análisis del intercambio de la mensajería originada entre el teléfono móvil y la estación base. Además se debería tomar en cuenta los tiempos en que se llevan a cabo estos procesos. Por este motivo, nuestro análisis a de estar sustentado por las anomalías detectadas durante el Proceso de la Originación de una Llamada (escenario recreado por las llamadas realizadas en los recorridos en el Drive Test.) desde el punto de teléfono Móvil y en los niveles de los parámetros RF antes mencionados.

Se obtuvieron 2 tipos de fallas en el acceso a la Red, Canal de Trafico No Iniciado y Canal de Trafico No Asignado.

Para el primer caso de fallas de acceso (por canal de acceso no iniciado) debido a la posible saturación de canales y falta de recursos en la estación base; la solución mas apropiada sería el aumento de capacidad de radio de la celda al utilizar técnicas de sectorización y/o asignación de otra/s frecuencia/s portadora/s con la respectiva contraparte del aumento de la capacidad (tarjetas) de trafico en la central.

En el caso de fallas de acceso por canal de acceso no asignado. Es necesario realizar las acciones necesarias para tener un plan de mediciones completa y así obtener la toda la información necesaria para identificar las fuentes de interferencia y entornos hostiles. Además se debe de realizar un control efectivo en la propagación de las señales transmitidas y tomar las acciones necesarias en base a esta información.

4.1. Métodos y procedimientos para ajustes de una Red Acceso Inalámbrica CDMA

Existen varios métodos y procedimientos que permiten realizar un ajuste óptimo de la red de acceso CDMA, su implementación depende de la necesidad de cada operador en relación a los posibles problemas encontrados en su red.

La primera línea de acción para la realización de un proceso de optimización en CDMA correspondería en la mejora de la lista de vecinos, para que esto sea posible se utilizan técnicas como el control de propagación.

La modificación de parámetros físicos de la radiobase, como el ángulo de inclinación (tilt), azimuth, altura y/o tipo de la antena de un sector de servicio, permite al operador mejorar y corregir deficiencias del servicio en zonas determinadas. El ajuste en el tilt, comúnmente el downtilt, puede ser realizado tanto a nivel mecánico como eléctrico, dando como resultado los siguientes beneficios al operador:

- Reducir la interferencia en el enlace forward, desde y hacia otros sectores vecinos.
- Optimizar el tamaño de la lista de vecinos, con la reducción del área de cobertura de un sector.
- Mejorar la calidad de la señal a niveles de calles y/o zonas bajas internas en las edificaciones.

La variación de la altura de la antena, permite reducir el área específica de cobertura de un determinado sector.

Un análisis mediante herramientas de predicción es comúnmente necesario, para poder validar la mejora antes de incurrir en la modificación física en la radio base.

4.2. Análisis Comparativo de los indicadores del Grado de Servicio Considerados por el organismo de Regulación y Control

La SUPTEL, independientemente de la tecnología implementada por la operadoras celulares en Ecuador, considera varios parámetros y rangos para garantizar un óptimo servicio del sistema celular a nivel de voz. Existen varios indicadores requeridos que no dependen únicamente de las medidas recolectadas en campo, ya que necesitan mediciones de la situación a nivel del núcleo central del sistema de red, esto conlleva un mayor análisis a nivel interno de la operadora el cual no es aplicable a este estudio.

De acuerdo a estas consideraciones, y tomado en cuenta en las estadísticas de los recorridos efectuados para las operadoras A y B, tenemos lo siguiente:

- Los niveles de caídas de llamadas, definidos por la SUPTEL tienen un máximo permisible del 2%. La operadora A presenta un índice promedio de $0.82\% \pm 0.26\%$; mientras la operadora B tiene un índice promedio del $1.19\% \pm 0.31\%$. Por tanto, ambas operadoras cumplen con este indicador.
- El porcentaje de llamadas exitosas, establecido en un mínimo del 80%, es correcto para ambas operadoras, teniendo un promedio de $95.15\% \pm 0.61\%$ para la operadora A y $94.70\% \pm 0.64\%$ para la operadora B.
- El grado de servicio del canal de voz, se identifica como el porcentaje de llamadas fallidas en la red, dándose un máximo permitido del 2%. Este indicador es cumplido por ambas operadoras, la operadora A muestra un nivel promedio de $1.05\% \pm 0.29\%$, mientras la operadora B obtiene un $0.86\% \pm 0.26\%$ de llamadas fallidas.
- El bloqueo de transferencia de llamadas (Fallas de Handoff), está establecido por el ente regulador en un máximo de 2%, y ambas operadoras lo cumplen. La operadora A presenta un nivel promedio de fallas de Handoff de $0.84\% \pm 0.26\%$, mientras la operadora B un valor de $1.23\% \pm 0.32\%$.

5. Conclusiones

La evaluación del rendimiento de las redes CDMA analizadas, permitió obtener una visión de la situación de la capacidad y cobertura de las operadoras que emplean esta tipo tecnología en su Red de acceso en la ciudad de Guayaquil.

Del análisis efectuado en este documento se concluye que ambas operadoras cumplen, a nivel general, los lineamientos exigidos por la SUPTEL en cuanto a Niveles de Caídas de Llamadas, Porcentaje de Llamadas Exitosas, Grado de Servicio del Canal de Voz y Bloqueo de Transferencia de Llamadas. Sin embargo, se pudo observar sectores de la ciudad con ciertos niveles de degradación del servicio; estos hallazgos representaron problemas puntuales que no incidieron mayormente en los índices globales de la ciudad.

Es importante destacar que el rendimiento de una red, en especial de una con tecnología de acceso CDMA, está íntimamente ligado al número de usuarios en la misma. Esto se pudo notar al verificar los niveles en los parámetros de Ec/Io, Potencia de Recepción y FER, donde se aprecia, a nivel macro, un mejor rendimiento de la Operadora A, la cual al momento de la evaluación contaba con un menor número de usuarios, respecto de la Operadora B. Por lo tanto, es importante que, durante el proceso de optimización de una red de acceso, tome siempre en consideración el efecto de la carga de usuarios de la red.

El Drive Test es un proceso fundamental en el monitoreo del rendimiento de una red de acceso por radio, como es el caso de la telefonía móvil, en vista que nos permite identificar desde el punto de vista del usuario los problemas que se presentan en la red. Su uso es además de gran utilidad para poder dar solución a muchos de los problemas presentes, en especial los relacionados a la Polución de Pilotos y Bajos Niveles de Cobertura. Para poder solucionar fallas e inconvenientes relacionados en la Origenación de llamadas es necesario que además del uso de la Herramienta de Drive Test se tenga acceso y conocimiento de los indicadores en la Red de transporte (BTS, BSC, MSC).

Para facilitar y realizar un completo análisis de problemas relacionados a Polución de Pilotos y Fallas en la Configuración de ventanas de Búsqueda, es recomendable el empleo de un Scanner Digital de RF. Esto es debido a que esta herramienta es independiente de los parámetros de la red de acceso y además tiene una mayor capacidad en número de "rake fingers" que un teléfono móvil comercial, permitiendo tener así una apreciación completa de todas las señales pilotos que estén afectando al móvil de prueba en la región de análisis.

6. Referencias Bibliográficas

- [1]. AGILENT TECHNOLOGIES, Optimizing Your CDMA Wireless Network Today and Tomorrow Using Drive-Test Solutions Application Note - 1345

- 2000, <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5968-9916E.pdf>.
- [2]. AGILENT TECHNOLOGIES, CDMA Drive-Test System Product Note, <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5968-5554E.pdf>
- [3]. AGILENT TECHNOLOGIES, Understanding CDMA Measurements for Base Stations and Their Components Specifications Application Note -1311, <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5968-0953E.pdf>
- [4]. AGILENT TECHNOLOGIES, Performing cdma2000 Measurements Today Application Note - 1325, <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5968-5858E.pdf>
- [5]. AGILENT TECHNOLOGIES, Application of Code Domain Power Measurements to CDMA Network Optimization Product Note , <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5988-0896EN.pdf>
- [6]. BAXTER SCOTT, RF Engineering CDMA Optimization Courses 102 - Introduction to Wireless RF and System Engineering, <http://www.howcdmaworks.com/rfeng/rfcdma.shtml>
- [7]. BAXTER SCOTT, RF Engineering CDMA Optimization Courses 134 - Current CDMA Networks: Architecture, Algorithms and Performance, <http://www.howcdmaworks.com/rfeng/rfcdma.shtml>
- [8]. BAXTER SCOTT, RF Engineering CDMA Optimization Courses 136 – Understanding Basic CDMA For 2G and 3G Systems, <http://www.howcdmaworks.com/rfeng/rfcdma.shtml>
- [9]. BAXTER SCOTT, RF Engineering CDMA Optimization Courses RF100 - Introduction to CDMA and CDMA RF System Engineering, <http://www.howcdmaworks.com/rfeng/rfcdma.shtml>
- [10]. BAXTER SCOTT, RF Engineering CDMA Optimization Courses RF150 – Operations Information Toolkit: Wireless CDMA RF & Performance, <http://www.howcdmaworks.com/rfeng/rfcdma.shtml>
- [11]. BAXTER SCOTT, RF Engineering CDMA Optimization Courses RF150 – Supplement, <http://www.howcdmaworks.com/rfeng/rfcdma.shtml>
- [12]. BAXTER SCOTT, RF Engineering CDMA Optimization Courses RF200- CDMA Performance Optimization Principles, Tools, and Practices, <http://www.howcdmaworks.com/rfeng/rfcdma.shtml>
- [13]. ITU-T Recommendation E.800: Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability, 1994. www.itu.int
- [14]. KYOUNG IL KIM, Handbook of CDMA System Design, Engineering and Optimization, Prentice Hall PTR, 2000.
- [15]. LEE JHONG SAM, MILLER LEONARD E., CDMA Systems Engineering Handbook, ArtechHouse, 1998.
- [16]. QUALCOMM, CDMA 2000 Voice Network Optimization Qualcomm-Cdma University Student Guide, 2004.
- [17]. QUALCOMM INCORPORATED, CDMA 2000 Network Planning Qualcomm-Cdma University Student Guide, 2004.
- [18]. QUALCOMM INCORPORATED, Distributed Antenna Systems Qualcomm-Cdma University Student Guide, 2004.
- [19]. QUALCOMM INCORPORATED, CDMA2000 Repeater Design and Deployment Qualcomm-Cdma University Student Guide, 2004
- [20]. RAPPAPORT THEODORE S., Wireless Communications: Principles and Practice, Prentice Hall PTR, 1996.
- [21]. ROSENBERG ADAM N., SID KEMP, CDMA Capacity and Quality Optimization (Telecom Engineering), McGraw Hill, 2003
- [22]. SARRAF KARIM, MOHSEN, W-CDMA and cdma2000 for 3G Mobile Networks, McGraw-Hill Professional, 2003.
- [23]. TIA/EIA-98-D, "Recommended Minimum Performance Standards for cdma2000 Spread Spectrum Mobile Stations", Junio 2001.
- [24]. TIA/EIA-97-D, "Recommended Minimum Performance Standards for Base Stations Supporting Dual Mode Spread Spectrum Systems", Junio 2001.
- [25]. TIA/EIA/IS-2000.1-C, "Introduction to cdma2000 Spread Spectrum Systems", Mayo 2002.
- [26]. TIA/EIA/IS-2000.2-C, "Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems", Mayo 2002.
- [27]. VANGHI VIERI, The cdma2000 System for Mobile Communications: 3G Wireless Evolutions, Prentice Hall PTR, 2004.
- [28]. YANG SAMUEL C., 3G CDMA2000 Wireless System Engineering, ArtechHouse, 2004.
- [29]. YANG SAMUEL C., CDMA RF System Engineering, ArtechHouse 1998
- [30]. VIJAY K. GARG, IS-95 CDMA and cdma2000: Cellular/PCS Systems Implementation, Prentice Hall PTR, 2000.