

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“ESTUDIO DE ESTRATEGIAS DE ADMINISTRACIÓN DE
RECURSOS DE RADIO EN UN SISTEMA 3G”**

TESINA DE SEMINARIO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

David Balseca Del Campo

Francisco Andrade Briones

GUAYAQUIL – ECUADOR

2009

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la vida y la fortaleza para enfrentar todos los retos que han ido apareciendo durante este largo trayecto. A mis padres por su amor, comprensión y aliento constante para que no me dé por vencido en los momentos más difíciles.

A mis profesores, que me permitieron aprender de ellos un poco más cada día, a mis familiares, a mis amigos y a todos los que contribuyeron de alguna u otra manera para que haya culminado una etapa más de mi vida.

David Balseca Del Campo.

Agradezco a mis padres por siempre apoyarme y confiar en mí, a mi hermano por siempre hacerme ver las cosas claras y ser un gran apoyo moral, a mis amigos de la U que hicieron de mi paso por ella algo inolvidable.

A mis profesores que me alentaron para que siempre de un poco más de lo que me proponía.

Francisco Andrade Briones.

DEDICATORIAS

A Dios, a mis padres por creer
en mí y brindarme la oportunidad
de estudiar.

David Balseca Del Campo.

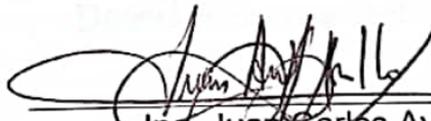
A mis padres, a mis tías Rosita y
Anita, a mi hermano y a mis
amigos

Francisco Andrade Briones.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



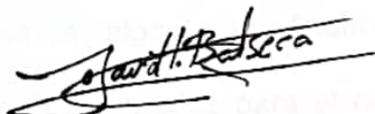
Ing. Washington Medina
PROFESOR DEL SEMINARIO DE
GRADUACIÓN



Ing. Juan Carlos Avilés
PROFESOR DELEGADO DEL
DECANO

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido de este Informe de Seminario de Graduación, corresponde exclusivamente a nosotros; y el patrimonio intelectual del mismo a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



David Balseca Del Campo



Francisco Andrade Briones

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es analizar los diferentes problemas que afectan los recursos de radio en un sistema UMTS. Una vez analizados estos problemas se darán a conocer una serie de estrategias que ayuden a manejar estos inconvenientes y de esta manera lograr administrar de forma eficiente los recursos de radio. También se simularán dos algoritmos utilizados como estrategias RRM y se compararán sus resultados.

En el capítulo 1 se hará una breve introducción a los sistemas UMTS dando a conocer sus elementos y arquitecturas, en el capítulo 2 se hablará acerca de WCDMA, la técnica utilizada en estos sistemas de tercera generación, en el capítulo 3 se identificarán los problemas existentes en una red UMTS concerniente al manejo de los recursos de radio, en el capítulo 4 se describirán algunos de los algoritmos utilizados para solucionar los problemas identificados en el capítulo anterior y se explicará el procedimiento de manera general que siguen estos algoritmos, finalmente en el capítulo 5 se presentarán dos algoritmos utilizados para el control de potencia los cuales serán explicados para luego realizar algunas simulaciones y analizar los resultados.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	X
ÍNDICE GENERAL.....	XI
ABREVIATURAS.....	XV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS).....	3
1.1. Definición.....	3
1.2. Arquitectura de un sistema UMTS.....	4
1.2.1. Dominio del usuario.....	5
1.2.2. Dominio de la infraestructura	6
CAPÍTULO 2	
2. Acceso múltiple por división de código de banda amplia (WCDMA)	13
2.1. Introducción a las técnicas de acceso múltiple	13

2.1.1. Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)	14
2.1.2. Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)	15
2.1.3. Acceso múltiple por división de código (CDMA)	16
2.2. CDMA en sistemas celulares	19
2.2.1. Interferencia entre celdas	20

CAPÍTULO 3

3. Estrategias Usadas en Administración de Recursos de Radio (RRM)	23
3.1. Introducción	23
3.2. Problemas que afectan las comunicaciones en las redes UMTS ...	24
3.2.1. Congestionamiento de la red	24
3.2.2. Efecto Near-Far	26
3.3. Estrategias RRM	27
3.3.1. Control de admisión	27
3.3.2. Control de congestión	30
3.3.3. Handover	31
3.3.4. Control de potencia	37

3.3.5. Ejemplo de la interacción entre estrategias RRM.....	38
---	----

CAPÍTULO 4

4. Algoritmos RRM	40
4.1. Introducción.....	40
4.2. Descripción de un algoritmo de control de congestión	41
4.2.1. Detección de la congestión	41
4.2.2. Solución de la congestión.....	43
4.2.3. La recuperación de la congestión.....	48
4.3. Descripción de un algoritmo de control de admisión	48
4.3.1. Ejemplos de algoritmos de control de admisión	50
4.4. Descripción de un algoritmo de control de Handover	53
4.4.1. Pasos generales en un proceso de Handover.....	53
4.4.2. Handover intra-frecuencia	54
4.4.3. Handover inter-frecuencia	55
4.5. Control de Potencia	56
4.5.1. Control de potencia de lazo abierto	57

4.5.2. Control de potencia de lazo cerrado.....	58
---	----

CAPÍTULO 5

5. Simulaciones	60
5.1. Introducción.....	60
5.2. Control de potencia de pasos múltiples (MSPC)	61
5.2.1. Descripción del algoritmo MSPC	62
5.2.2. Simulación MSPC.....	64
5.3. Control de potencia de paso adaptable (ASPC)	67
5.3.1. Descripción del algoritmo ASPC.....	68
5.3.2. Simulación ASPC	70
5.4. MSPC vs. ASPC.....	73
5.4.1. Simulaciones MSPC vs. ASPC.....	74
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES.....	82
ANEXOS	84
REFERENCIAS	105

ABREVIATURAS

2G	Segunda Generación
3G	Tercera Generación
3GPP	Third Generation Partnership Project
AN	Red de Acceso
BER	Bit Error Rate
BLER	Block Error Rate
CBR	Channel Bit Rate
CDMA	Acceso Múltiple por división de código
CN	Core Network
CPICH	Common Pilot Channel
CRNC	Controlling Radio Network Controller
CS	Circuit Switched
DRNC	Drift Radio Network Controller
DS-CDMA	Direct Sequence Code Division Multiple Access
DSCH	Downlink Shared Channel
Eb/No	Bit Energy over noise power spectral density
Ec/No	Chip Energy over noise power spectral density
EIR	Equipment Identity Register
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FACH	Forward Access Channel
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Acceso Múltiple por división de acceso
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway Mobile Switching Centre
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HLR	Home Location Register
HN	Home Network
IP	Internet Protocol
IS-95	Interim Standard 95
ISDN	Integral Service Data Network
MAC	Medium Access Control
ME	Mobile Equipment
MSC	Mobile Switching Centre
PS	Packet Switched
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoS	Calidad de Servicio

RAB	Radio Access Bearer
RAN	Radio Access Network
RANAP	Radio Access Network Application Part
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
RR	Radio Resource
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Resource Management
SIR	Signal to Interference Ratio
SN	Serving Network
SRNC	Serving Radio Network Controller
SRNS	Serving Radio Network Subsystem
TD/CDMA	Acceso Múltiple por división de tiempo / código
TDMA	Acceso Múltiple por división de tiempo
TE	Terminal Equipment
TF	Transport Format
TFC	Transport Format Combination
TFS	Transport Format Set
TN	Transit Network
TPC	Transmit Power Control
UE	User Equipment
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
WCDMA	Acceso Múltiple por división de código de banda amplia

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Arquitectura UMTS	4
Figura 1.2	Arquitectura UTRAN	8
Figura 1.3	Red UMTS	11
Figura 2.1	FDMA.....	13
Figura 2.2	TDMA.....	14
Figura 2.3	CDMA	15
Figura 2.4	Interferencia Inter-Celda en sistemas CDMA.....	19
Figura 2.5	Interferencia Inter-Celda para el Uplink	20
Figura 2.6	Interferencia Inter-Celda para el Downlink.....	21
Figura 3.1	Efecto Near-Far	24
Figura 3.2	Mensajes y protocolos en el control de admisión	28
Figura 3.3	Handover	30
Figura 3.4	Hard Handover	32
Figura 3.5	Soft Handover	33

Figura 3.6	La interacción entre las funciones RRM	37
Figura 4.1	Pasos de un algoritmo de control de congestión	45
Figura 4.2	Algoritmo PLEBAC y PABAC.....	50
Figura 5.1	Diagrama del algoritmo MSPC	60
Figura 5.2	Algoritmo MSPC 50 Móviles	61
Figura 5.3	Algoritmo MSPC 100 Móviles	62
Figura 5.4	Algoritmo MSPC 200 Móviles	63
Figura 5.5	Diagrama del algoritmo ASPC	66
Figura 5.6	Algoritmo ASPC 50 Móviles.....	67
Figura 5.7	Algoritmo ASPC 100 Móviles.....	68
Figura 5.8	Algoritmo ASPC 200 Móviles.....	69
Figura 5.9	MSPC vs. ASPC 50 Móviles	71
Figura 5.10	MSPC vs. ASPC 100 Móviles	72
Figura 5.11	MSPC vs. ASPC 200 Móviles	73
Figura 5.12	Gráfico estadístico de las simulaciones del algoritmo MSPC	74
Figura 5.13	Gráfico estadístico de las simulaciones del algoritmo ASPC.....	75

INTRODUCCIÓN

Con la evolución de la telefonía celular y el desarrollo de nuevas aplicaciones para satisfacer las demandas de los usuarios van apareciendo mayores retos y adversidades que se pueden encontrar para garantizar la calidad de servicio en las redes de tercera generación.

Algunos de estos problemas tienen que ver con la interferencia generada por la potencia transmitida de los equipos terminales o con la sobrecarga de usuarios en una red.

Para solucionar estos problemas existen diferentes estrategias de administración de recursos de radio (RRM o Radio Resource Management) las cuales se basan en algoritmos que dependiendo de la situación serían los encargados de evitar que el sistema se sature.

En este trabajo nos enfocaremos en analizar el comportamiento general de algoritmos de control de congestión, control de admisión, handover y control de potencia.

En el capítulo final se describirán dos algoritmos de control de potencia encontrados en el paper "Performance Analysis of Downlink Power Control in CDMA Systems" los cuales serán simulados usando MatLab como herramienta para este análisis.

El objetivo de simular estos algoritmos es para compararlos y determinar cual de ellos es el más eficiente mediante las gráficas obtenidas.

CAPÍTULO 1

1. SISTEMA UNIVERSAL DE TELECOMUNICACIONES MÓVILES (UMTS)

1.1. DEFINICIÓN

UMTS es la propuesta europea dada por la ETSI (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones) para afrontar el desafío de los sistemas de la tercera generación. Los protocolos para las redes UMTS están dictados por un organismo llamado 3gpp (3rd Generation Partnership Project).

UMTS permite que más usuarios puedan ser introducidos a la red global del sistema y también permite incrementar la velocidad de transmisión hasta 2Mb/s por usuario.

Tener más ancho de banda a disposición significa que el sistema va a ser capaz de soportar un mayor número de aplicaciones y servicios que no podían ser implementados con el uso de las tecnologías anteriores como por ejemplo las videoconferencias, el comercio electrónico, mensajería multimedia, entre otras.

A continuación se explicará brevemente un poco los componentes que conforman las redes UMTS empezando por su arquitectura.

1.2 ARQUITECTURA DE UN SISTEMA UMTS

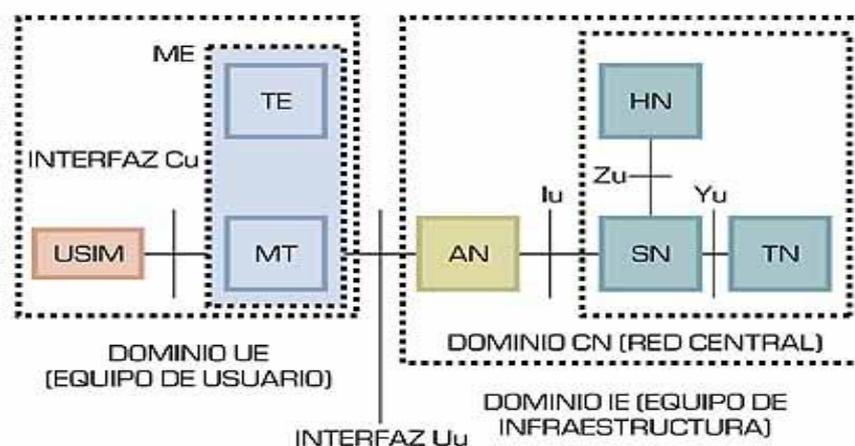


Figura 1.1 Arquitectura UMTS¹

¹ Artículo "Análisis en torno a la arquitectura global de seguridad en UMTS" escrito por el Prof. Dr. Javier Areitio Bertolín.

En el gráfico anterior se observa la arquitectura general de un sistema UMTS la cual está dividida en dominios separados por la interfaz *Uu* (representa la interfaz de radio). Un dominio es una agrupación de nodos físicos.

El dominio del usuario "*User equipment (UE) domain*" es donde el usuario accederá a los servicios del sistema UMTS y el dominio de la infraestructura "*Infrastructure domain*" donde el operador tiene los nodos físicos que se utilizarán para soportar los servicios y la interconexión con otro equipo terminal de la red. [1]

1.2.1 Dominio del Usuario

Este dominio consiste en el terminal que permitirá al usuario acceder a los servicios móviles a través de la interfaz de radio.

Se pueden diferenciar dos sub-sistemas dentro de este dominio que son el "*UMTS Subscribe Identity Module (USIM) domain*" y el "*Mobile Equipment (ME) domain*".

El dominio USIM está representado básicamente por una tarjeta inteligente que es el dispositivo físico de hardware que contiene la información de identificación del usuario. El USIM

incluye también la identidad de dicho usuario en la red y los servicios a los que puede acceder dependiendo del contrato que tenga con la operadora que le presta el servicio. De esta manera el usuario puede acceder a estos servicios de forma segura sin importar el equipo celular que esté usando.

El dominio del equipo móvil se refiere a la entidad física que va a ser destinada para realizar la transmisión y recepción de datos.

1.2.2 Dominio de la infraestructura

El dominio de la infraestructura está dividido en dos sub-sistemas uno que depende de la tecnología usada para el acceso de radio y otro que es independiente de ella. El primer sub-sistema es el dominio de la red de acceso (*Access Network (AN) domain*) y el segundo es el núcleo de la red (*Core Network (CN) domain*).

Para poder tomar en cuenta cuando el usuario se conecta con otras redes ya sean redes de otras operadoras celulares o de

telefonía fija, Internet, etc. el núcleo de la red se lo ha dividido en tres sub-dominios.

- **Home Network (HN) domain:** Corresponde a la red de la operadora a la que el usuario está suscrito. El perfil de servicios así como los parámetros de identificación del usuario se mantienen en el *HN* y deben de ser coordinados con la información en la *USIM*.
- **Serving Network (SN) domain:** Este dominio indica la red a la que el usuario está conectado en un determinado momento y es la responsable de transportar los datos del usuario desde la fuente hasta su destino. Físicamente puede ser la misma *HN* o una red diferente en el caso de que el usuario se esté comunicando con un equipo de otra operadora. La *SN* se conecta con la red de acceso y con la *HN*, es necesario la conexión con la *HN* para recuperar la información acerca de los servicios del usuario para poder efectuar la facturación.
- **Transit Network (TN) domain:** Es la parte del núcleo de la red que facilita la comunicación de un usuario de una

operadora con otro usuario de otra operadora, por ejemplo: si un usuario de telefonía celular se conecta con un usuario de una red ISDN, la red ISDN actúa como una red de tránsito *TN*, en cambio si dos usuarios de la misma *SN* establecen una conexión entre ellos no hay una *TN*.

Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) La arquitectura de la UTRAN es mostrada en la figura 1.2. Está compuesta por subsistemas de la red de radio (RNS, por sus siglas en inglés) que se conectan a la red por medio de una interfaz que le corresponda. Cada RNS es responsable por la transmisión y recepción de un grupo de celdas UMTS. [2]

La conexión entre una RNS y el UE se realiza por medio de una interfaz de radio.

La RNS contiene un número de nodos B o estaciones base y un controlador de red de radio (RNC, por sus siglas en inglés), conectados entre sí.

Un Nodo B es la frontera entre la interfaz de aire y la red y está compuesta por una o varias celdas o sectores. En la terminología 3GPP, una celda es la entidad más pequeña de

una red de radio que tiene su propio número que lo identifica, llamado ID de celda.

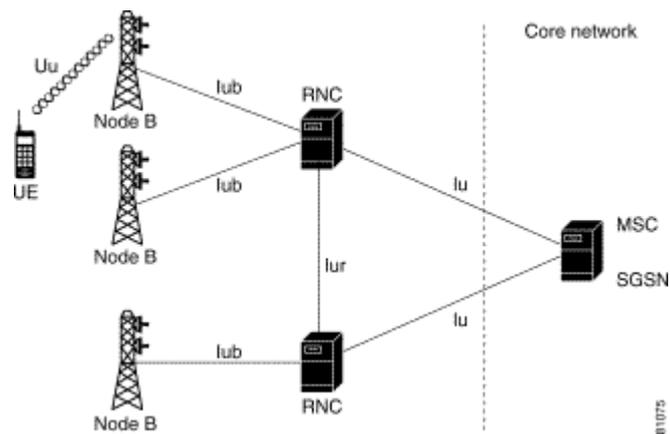


Figura 1.2 Arquitectura UTRAN²

El RNC es el nodo responsable del control del uso de los recursos de radio en los nodos B que están bajo su control, por lo tanto es la entidad principal donde se ejecutan los algoritmos de la gestión de recursos de radio de UMTS (RRM, por sus siglas en inglés). La mayoría de las funciones relacionadas con la interfaz de radio son ejecutadas en el RNC. En el lado de la red, el RNC opera con el CN para establecer, mantener y

² <http://www.cisco.com/univercd/illus/8/75/81075.gif>

terminar la conexión con los elementos del CN que los UEs bajo su control requieran para recibir servicios UMTS.

Desde un punto de vista funcional, el RNC puede tomar varios roles lógicos:

- CRNC (Controlling RNC). En este rol el RNC tiene control sobre el grupo de nodos B.
- SRNC (Serving RNC). Tiene que ver con el UE. El SRNC es el RNC que sostiene la conexión entre un UE dado y el CN.
- DRNC (Drift RNC). Este rol también es respecto a un UE y es consecuencia de un handover específico que existe con sistemas CDMA llamado soft-handover. En este caso un UE puede conectarse simultáneamente con varias celdas. [3]

Core Network Es la parte de la infraestructura de la red que cubre todas las funcionalidades que no están directamente relacionadas con la tecnología de radio acceso, por lo que es factible combinar diferentes arquitecturas de núcleo con diferentes redes de acceso de radio.

La infraestructura del núcleo de red está dividida en 2 dominios que difieren en la manera en que ellos soportan el tráfico de usuario. Ellos son los dominios de circuito conmutado (CS, por

sus siglas en inglés) y de paquete conmutado (PS, por sus siglas en inglés).

El dominio CS soporta el tráfico compuesto por conexiones que requieran recursos de red dedicados, y permite la interconexión con redes CS como las PSTN o las ISDN. En cambio, el dominio PS soporta un tráfico compuesto por paquetes, que son agrupados en bits que son transmitidos independientemente. Esto permite que un grupo de paquetes fluya para compartir los recursos de red basados en la multiplexación de tráfico. El dominio PS permite la interconexión con dominios PS externos como Internet.

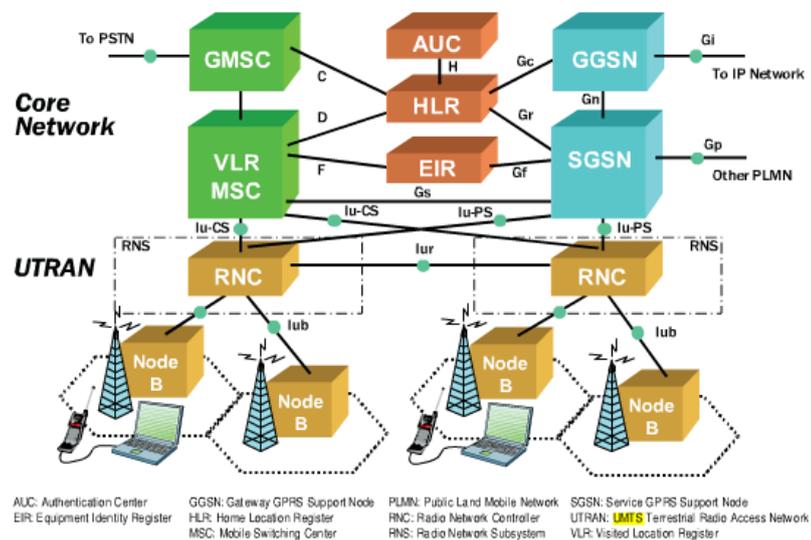


Figura 1.3 Red UMTS³

³ <http://www.scribd.com/doc/7090616/UMTS-Radio-Interface-System-Planning-and-Optimization>

Hay algunas entidades que pertenecen tanto al dominio CS como al PS. Estas son la HLR (Home Location Register), la AuC (Authentication Center) y la EIR (Equipment Identity Register). El HLR es una base de datos que guarda información sobre los usuarios que están suscritos en una red dada. La AuC guarda las claves de identidad de los usuarios suscritos y es usado por la HLR para realizar operaciones de seguridad. En cambio la EIR es una base de datos que guarda los identificadores de las terminales móviles para detectar esas terminales cuyo acceso debe ser denegado.

CAPÍTULO 2

2. ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE CÓDIGO DE BANDA AMPLIA (WCDMA)

2.1. INTRODUCCIÓN A LAS TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE

En las telecomunicaciones el concepto de técnicas de acceso múltiple es muy importante ya que constituye un pilar fundamental en la manera como se utilizará la interfaz radio.

Las técnicas de acceso múltiple son mecanismos para lograr el uso compartido de esta interfaz, nacen de la necesidad de tener la capacidad de separar la señal deseada de las demás señales presentes en una antena y de distribuir de manera eficiente los recursos del sistema. El requisito básico es que tienen que

proporcionar ortogonalidad en el receptor, lo que quiere decir que los usuarios resultarán separables en el extremo del mismo. Las señales que comparten el mismo recurso pueden causar interferencia entre ellas. Estas se considerarán aceptables mientras se puedan detectar los mensajes. Es decir, el límite permitido de interferencia es tal que las señales en un canal, no incrementen la probabilidad de error en el otro. Las técnicas más comunes para lograr el acceso múltiple son aquellas que utilizan división de frecuencia, división de tiempo, división de código, entre otras. A continuación se detallarán algunas de estas técnicas para obtener una visión más clara de su funcionamiento y su aplicación en los sistemas celulares.

2.1.1. Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)

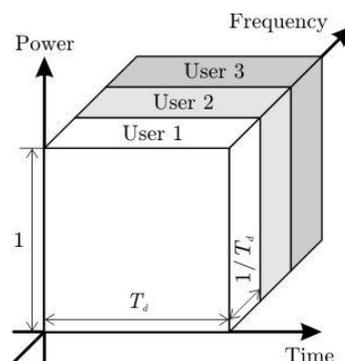


Figura 2.1 FDMA⁴

⁴ http://www.kn-s.dlr.de/People/Haas/fdma_tdma_cdma.jpg

La base de FDMA es dividir el espectro disponible en porciones más pequeñas denominadas canales, que corresponden a distintos rangos de frecuencias, estos canales serán asignados a los usuarios.

Si tuviéramos un ancho de banda βt sería dividido en partes más pequeñas denominadas βc , estos pequeños fragmentos de ancho de banda son asignados a los usuarios para que hagan libre uso de estos canales, sin embargo es necesario dejar un ancho de banda de separación por seguridad entre cada canal denominado βg .

2.1.2. Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

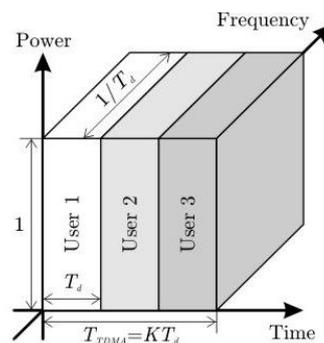


Figura 2.2 TDMA⁵

⁵ http://www.kn-s.dlr.de/People/Haas/fdma_tdma_cdma.jpg

En esta técnica los usuarios comparten la misma frecuencia pero transmiten la información en tiempos distintos, de esta manera se logra la ortogonalidad en el plano del tiempo; para separar la señal deseada en el receptor del resto de señales basta con escuchar el canal en el período del tiempo en el que está transmitiendo dicho usuario y omitir el resto del tiempo. En la práctica no se usan sistemas TDMA puros, más bien se utilizan sistemas híbridos de TDMA con FDMA. De esta manera el ancho de banda total del sistema es dividido en diferentes portadoras y cada portadora se divide en intervalos de tiempo.

2.1.3. Acceso múltiple por división de código (CDMA)

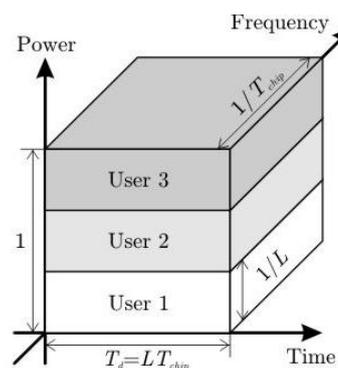


Figura 2.3 CDMA⁶

⁶ http://www.kn-s.dlr.de/People/Haas/fdma_tdma_cdma.jpg

El acceso múltiple por división de código es una técnica que utiliza la tecnología del espectro expandido o en inglés conocido como *spread spectrum*, para solucionar el problema de acceso al medio. El espectro expandido es una técnica de modulación en telecomunicaciones para la transmisión de datos, generalmente digital o por radiofrecuencia. Su fundamento básico es ensanchar la señal original a un ancho de banda mucho mayor que el mínimo requerido para transmitir la información deseada. [4]

Esta difusión a través del Spread Spectrum puede ser tan grande que un receptor de radio solo capta un zumbido, es decir, sólo una pequeña parte de la banda de frecuencia. Para poder captar la señal dispersa se necesita receptores con amplitud de banda especial que transformen el zumbido recibido en información. Este receptor de banda ancha tiene que disponer del decodificador apropiado para transformar la señal del emisor en información. A eso se agrega que es difícil interferir un emisor de este tipo. Si se interfiere toda la banda de frecuencia, se vuelve imposible cualquier radiocomunicación.

CDMA usa un esquema especial de codificación, por el que a cada transmisor se le asigna un código único, escogido de forma que sea ortogonal respecto al resto; el receptor capta las señales emitidas por todos los receptores al mismo tiempo, pero gracias al esquema de codificación puede seleccionar la señal de interés si conoce el código empleado.

En DS-CDMA la ortogonalidad de la señal se logra multiplicando la señal de cada usuario por una secuencia de código ortogonal diferente. En el dominio de la frecuencia esto ocasiona que el ancho de banda de la señal original se expanda. El receptor tiene que usar el mismo código para poder recuperar la señal original.

En teoría no hay un número fijo de usuarios que podrían estar comunicándose simultáneamente, depende de varios factores. Uno de ellos sería el número máximo de secuencias de códigos disponibles en el sistema, además hay que tomar en cuenta que en la práctica al momento de decodificar las señales de interés queda una interferencia remanente, por lo tanto, el número máximo de usuarios sería proporcional a la cantidad de interferencia que pueda soportar el sistema.

En sistemas de comunicaciones de 2G, IS-95 fue el primero en hacer uso de CDMA, ocupando un ancho de banda de 1.25 Mhz. En el desarrollo de los sistemas de 3G, la tecnología de CDMA se siguió usando por los sistemas UMTS pero el ancho de banda fue incrementado a 5Mhz, por este motivo se suele llamar a esta técnica como Acceso Múltiple por División de Código de Banda Anplia (WCDMA). [5]

2.2. CDMA EN SISTEMAS CELULARES

Una de las principales ventajas de usar un sistema celular de comunicaciones basado en CDMA en vez de utilizar uno basado en FDMA/TDMA es que la misma frecuencia portadora puede ser utilizada para manejar las celdas del sistema, dado que todas las transmisiones se llevan a cabo asignando diferentes secuencias de código.

Las estrategias de planificación en los sistemas CDMA se basan principalmente en controlar la interferencia para algún área de cobertura y en estrategias de planificación de códigos para decidir cual es la secuencia de código más apropiada para ser asignada a las celdas.

Los usuarios de una celda CDMA perciben las transmisiones de una celda adyacente operando a la misma frecuencia como una

interferencia de banda amplia denominada interferencia **inter-celda**, esta debe ser añadida a la interferencia **intra-celda** la cual es generada por los usuarios de la misma celda.

La diferencia entre ellas es que los algoritmos de control de potencia son capaces de regular la potencia recibida por los usuarios de la misma celda pero no la potencia recibida causada por los usuarios de celdas adyacentes (interferencia inter-celda).

2.2.1. Interferencia entre celdas

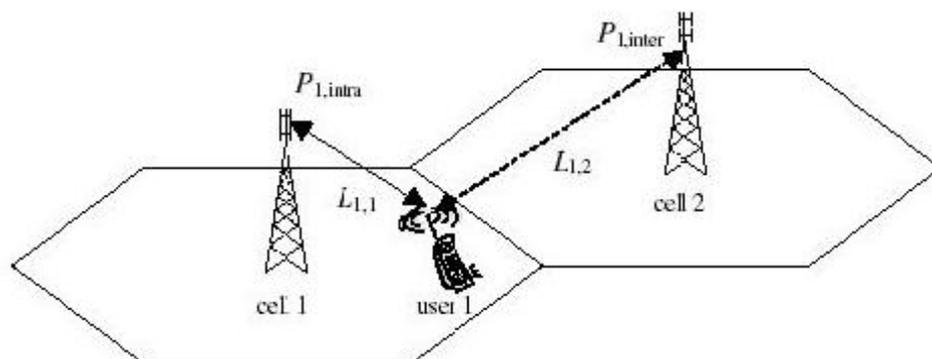


Figura 2.4 Interferencia inter-celda en sistemas CDMA⁷

En el gráfico anterior se puede observar como el equipo móvil denominado user 1 genera una interferencia en la misma celda

⁷ J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, M. Díaz-Guerra – “Radio Resource Management Strategies in UMTS”

llamada $P_{1,inter}$, así como también se genera una interferencia en la celda adyacente denominada P_{inter} .

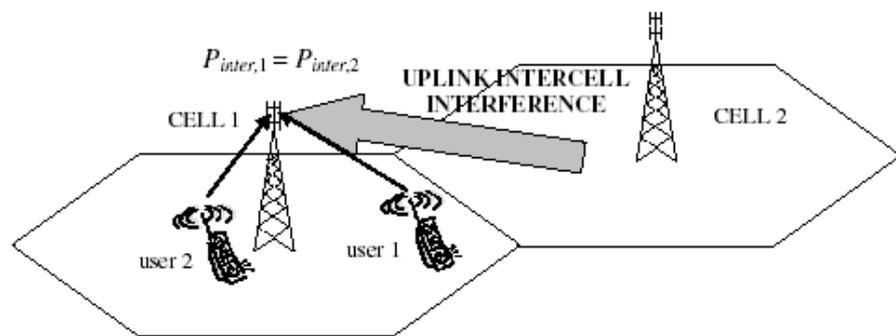


Figura 2.5 Interferencia Inter-Celda para el Uplink⁸

En el gráfico anterior podemos observar que para el uplink la interferencia inter-celda para el user 1 y el user 2 ocasionada por los equipos móviles de la celda 2 es la misma, es decir:

$$P_{inter,1} = P_{inter,2}$$

Esto no ocurre para la interferencia inter-celda en el caso del downlink. Para el downlink el nivel de interferencia inter-celda está relacionado con la distancia a la que se encuentra un móvil de la celda adyacente. [2]

⁸ J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, M. Díaz-Guerra – “Radio Resource Management Strategies in UMTS”

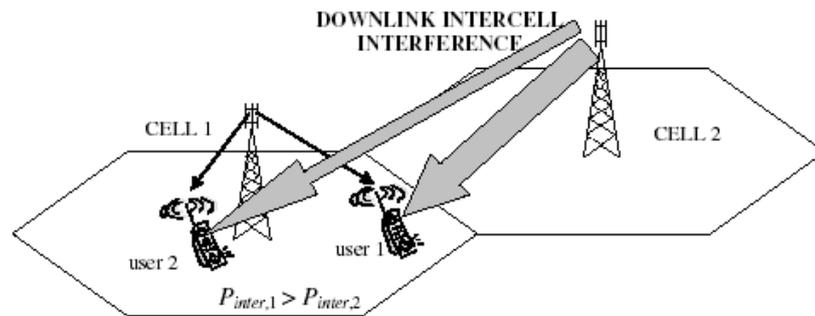


Figura 2.6 Interferencia Inter-Celda para el Downlink⁹

La figura anterior nos muestra que el nivel de interferencia inter-celda recibido por el user 1 es mayor que el recibido por el user 2 debido a que el equipo móvil del user 1 se encuentra mucho más cerca del nodo base adyacente que está ubicado en la celda 2. Por lo tanto:

$$P_{inter,1} > P_{inter,2}$$

⁹ J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, M. Díaz-Guerra – “Radio Resource Management Strategies in UMTS”

CAPÍTULO 3

3. ESTRATEGIAS USADAS EN ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS DE RADIO (RRM)

3.1. INTRODUCCIÓN

RRM son las siglas de Radio Resource Management (Administración de Recursos de Radio). Las estrategias de administración de recursos de radio [6] son necesarias para garantizar la calidad de servicio (QoS, por sus siglas en inglés).

En este capítulo nos enfocaremos en cuatro de ellas que son el control de admisión, control de congestión, handover y control de potencia.

Es necesario distinguir los problemas que se presentan en la interfaz de aire de una red de tercera generación para así poder entender por qué se usa una estrategia RRM en particular.

3.2. PROBLEMAS QUE AFECTAN LAS COMUNICACIONES EN LAS REDES UMTS

Antes de empezar a hablar acerca de las estrategias RRM empezaremos por nombrar algunos de los problemas que afectan las comunicaciones en una red UMTS.

3.2.1. Congestionamiento de la Red

Cada vez que un usuario realiza una llamada emite un nivel de potencia para transmitir su señal desde su equipo terminal hacia la estación base, ese nivel de señal causa un nivel de interferencia en la red.

Una celda puede soportar cierto nivel de interferencia antes de que se sature. Si no existe un mecanismo para controlar este problema lo más probable es que los usuarios se queden sin servicio. Estos mecanismos se basan en algoritmos que operan

de acuerdo a ciertos parámetros que proporcionan la calidad de servicio que los usuarios necesitan. Uno de estos parámetros es el BER.

El Bit Error Ratio (BER) es, en telecomunicaciones, el número de bits o bloques incorrectamente recibidos, con respecto al total de bits o bloques enviados durante un intervalo específico de tiempo.

Es además un parámetro representativo para el QoS en el nivel de conexión, y se representa como:

$$BER = f\left(\frac{E_b}{N_0}\right) \quad [7]$$

Donde f es una función decreciente que depende en parámetros de la capa física como la codificación de canal, la repuesta de impulso del canal, etc.

Existen otros parámetros a ser tomados en cuenta tales como:

1. El número de usuarios activos, N .
2. El número de usuarios transmitiendo simultáneamente, n .
3. El nivel de potencia transmitida correspondiente a todos los usuarios simultáneos.

3.2.2. Efecto Near-Far

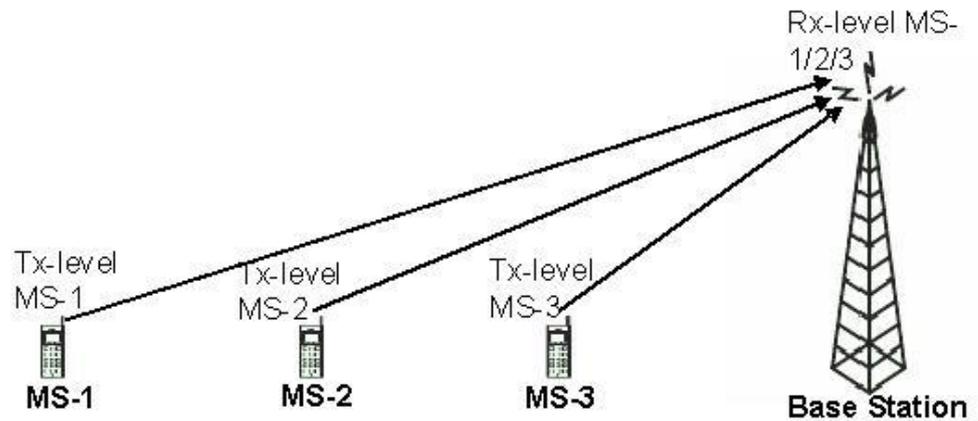


Figura 3.1 Efecto Near-Far¹⁰

En la figura 3.1 se distinguen tres equipos móviles a diferentes distancias de un nodo base. La potencia utilizada para transmitir la señal de estos equipos no puede ser fija ya que si este fuera el caso el equipo que esté más cerca de la estación base sería el más privilegiado ya que podría ser escuchado sin ninguna dificultad, en cambio el equipo que esté más alejado de la estación base (en el caso de la figura 3.1 el móvil 1) tendría problemas al momento de transmitir su señal ya que esta sería opacada por los otros equipos terminales que se encuentren

¹⁰ http://myhsc.pbworks.com/f/near_far_effect_2.jpg

más cerca del nodo base. Este fenómeno es conocido con el nombre de efecto Near-Far.

Debido a este problema es necesario usar algún mecanismo que pueda controlar la potencia transmitida por los equipos terminales para comunicarse con la red en el uplink así como la potencia transmitida por las estaciones base en el downlink.

Los algoritmos de control de potencia son los que se encargan de mantener un nivel de potencia óptimo en la transmisión de señales tanto del equipo terminal como de la estación base mediante el uso de parámetros que le indican a la estación base a que distancia se encuentran los móviles de su celda como por ejemplo el path loss.

3.3. ESTRATEGIAS DE RRM

3.3.1. Control de admisión

En una celda WCDMA todos los usuarios comparten un ancho de banda común y cada nueva conexión incrementa el nivel de interferencia de las conexiones ya existentes, afectando su calidad determinada por un cierto valor de (E_b / N_o) . [8]

El control de admisión decide la admisión o rechazo de peticiones para establecer o reconfigurar conexiones. La petición debe ser admitida en caso de que los requerimientos de QoS puedan ser alcanzados y que los requerimientos de QoS de las conexiones ya aceptados no sean afectados por la aceptación de la nueva petición. El diseño de un control de admisión apropiada en UMTS es mucho más desafiante que en GSM, donde hay un número definido de canales disponibles por lo que los usuarios pueden ser admitidos mientras haya canales disponibles.

Debido a que la máxima capacidad de la celda está vinculada intrínsecamente a la cantidad de interferencias, el uso de algoritmos de control de admisión se basa en mediciones y / o las estimaciones de la situación de carga de red, así como sobre la estimación de aumento de la carga que causaría la aceptación de la solicitud.

Si las decisiones tomadas por el control de admisión son demasiado flexibles, y muchos usuarios son aceptados, puede crearse una situación de sobrecarga y puede que se necesiten activar mecanismos RRM adicionales. Si las decisiones son demasiado estrictas, y muy pocos usuarios se están aceptando,

el operador tendrá una pérdida de ingresos y será necesario un ajuste del algoritmo de control de admisión.

Los procedimientos relacionados con el control de admisión son mostrados en la figura 3.2. Una petición de transacción de establecimiento de comunicación en UMTS es siempre activada desde el lado del UE, ya sea porque es el UE mismo el que está iniciando una interacción con la red o porque el UE está contestando un mensaje de paging. Antes del procedimiento de establecimiento de conexión, un camino de señalización desde el UE junto con el CN debe ser establecido, el cual en el caso del UTRAN es logrado por medios de una conexión RRC y el protocolo RANAP (Radio Access Network Application Part), el cual se encarga de las interacciones UTRAN-CN.

Con ayuda de los protocolos RRC y RANAP, se envía una petición de establecimiento de conexión al CN.

Por lo tanto, el CN es el encargado de iniciar una conexión de RAB usando el mensaje de asignación que se envía al SRNC lo cual se ilustra en la figura 3.2. Con la llegada de dicho mensaje, el algoritmo de control de admisión es ejecutado. Si la conexión es admitida, el SRNC establece los recursos en las interfaces de radio por medio del proceso RRC de establecimiento de los portadores de radio. Si el proceso de establecimiento de

conexión es exitoso, entonces una respuesta positiva es dada en el mensaje de respuesta de tarea de RAB y eventualmente es establecido el RAB.

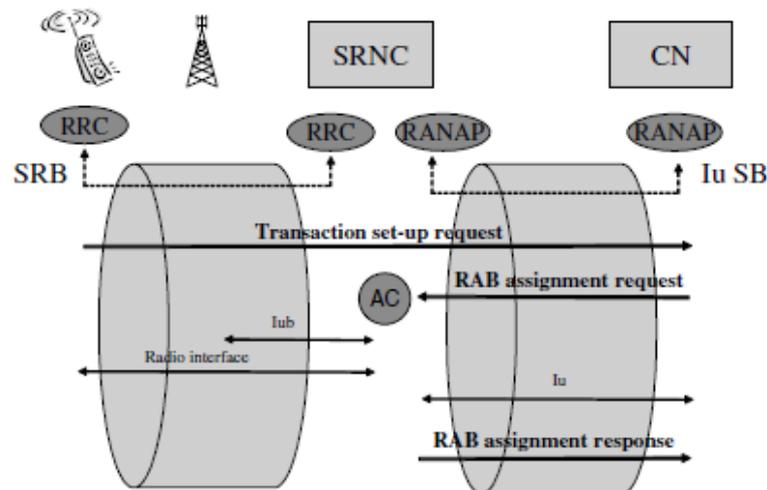


Figura 3.2 Mensajes y protocolos en el control de admisión¹¹

3.3.2. Control de congestión

El control de congestión, también llamado control de carga, afronta situaciones en los cuales las garantías de QoS están en riesgo debido a la evolución de la dinámica del sistema. Por ejemplo, si varios usuarios en una celda inesperadamente se mueven lejos del Nodo B, puede que no haya la suficiente

¹¹ J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, M. Díaz-Guerra – “Radio Resource Management Strategies in UMTS”

potencia para satisfacer todos los enlaces simultáneamente y se necesitaría tomar una acción.

Las situaciones de congestión en la interfaz de radio son causadas por interferencia excesiva. Es por esto que los algoritmos de control de congestión necesitan monitorear continuamente el estado de la red para poder corregir situaciones de sobrecarga cuando estas se presenten.

De forma similar al algoritmo de admisión de control, el control de congestión esta íntimamente relacionada con las demás estrategias de RRM.

En UTRAN las situaciones de sobrecarga pueden ser detectadas midiendo el factor de carga de la red denominado como η [9], [10].

Un máximo de nivel de carga es planificado para la red y cuando se identifica una situación de congestión, se activan las acciones de resolución de congestión.

3.3.3. Handover

Cuando un usuario se mueve del área de cobertura definida de una celda a otra, el sistema debe ser capaz de mantener a dicho usuario en contacto aunque se rompa la conexión establecida

con una radio base y se establezca una nueva conexión con otra, a este procedimiento se lo conoce como *handover*.

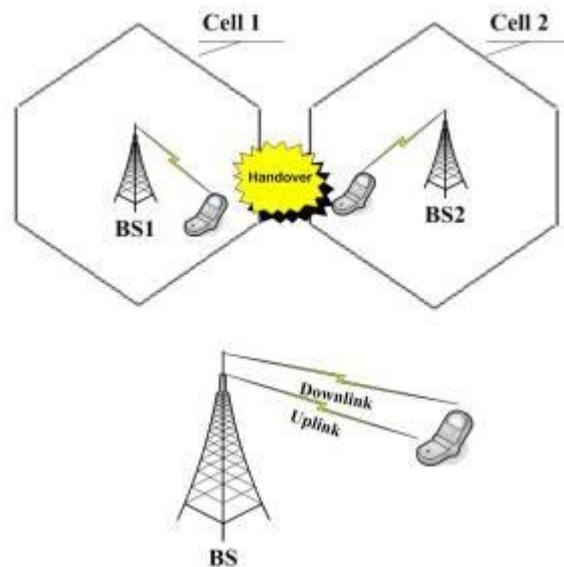


Figura 3.3 Handover¹²

El proceso Handover puede llevarse a cabo por diferentes motivos:

1.- Cuando el teléfono se está moviendo de un área cubierta por una celda y entra en otra área de cobertura de otra celda, la llamada es transferida a la segunda celda con la finalidad de evitar la terminación de la llamada cuando el teléfono sale de la zona de la primera celda.

¹² http://www.e-projects.ubi.pt/mobileman/docs/Imagens%20Diversas/handover_tumb.jpg

2.- Cuando la capacidad para la conexión de nuevas llamadas de una determinada celda se está utilizando y una existente o nueva llamada de un teléfono entra, que se encuentra en una zona superpuesta a otra celda, se transfiere a esta celda con el fin de liberar cierta capacidad en la primera celda para otros usuarios, que sólo pueden ser conectados a esta celda.

3.- En redes CDMA un soft-handoff puede ser inducido a fin de reducir la interferencia a una celda vecina más pequeña debido al efecto “near-far” incluso cuando el teléfono tiene una excelente conexión con su actual celda. [11]

El handover es una función inherente de los sistemas celulares, en WCDMA más posibilidades están abiertas mientras la terminal móvil pueda conectarse a más de una celda simultáneamente, asumiendo que estas celdas operan a la misma frecuencia.

El handover se puede producir de diferentes maneras por eso se lo clasifica en dos categorías: desde el punto de vista del usuario y de la red.

Desde el punto de vista del usuario existen 2 tipos de handover:

- **Hard-Handover:** Antes del proceso de traspaso, el móvil está conectado a su estación base origen. Durante el proceso de Handover, se desconecta de ésta y durante un tiempo (del orden de milisegundos) el móvil no está conectado a ninguna otra BS. Mediante este procedimiento, se usa por lo tanto, un solo canal. De éste modo la conexión con la BS original se corta antes de realizar la nueva conexión a la nueva BS. [12]

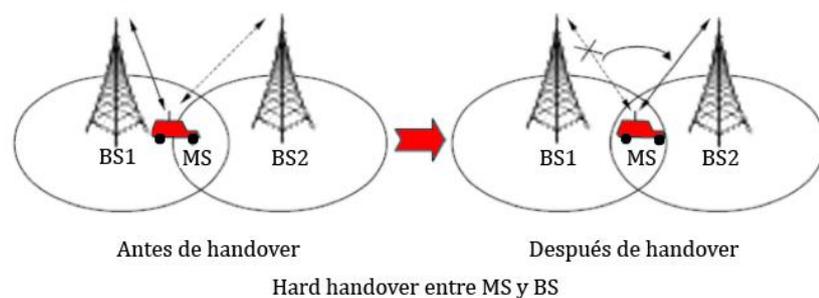


Figura 3.4 Hard handover¹³

- **Soft-Handover:** En este caso, durante el proceso de traspaso el móvil estará conectado mediante un canal a la BS origen y mediante otro canal a la BS destino. Durante dicho proceso, la transmisión se realiza en paralelo por los dos canales, es decir, no se produce interrupción del

¹³ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/18/Hard_handover.jpg

enlace. Con dicho sistema se asegura una conexión con la estación base de la nueva celda antes de cortar con la conexión antigua. [12]

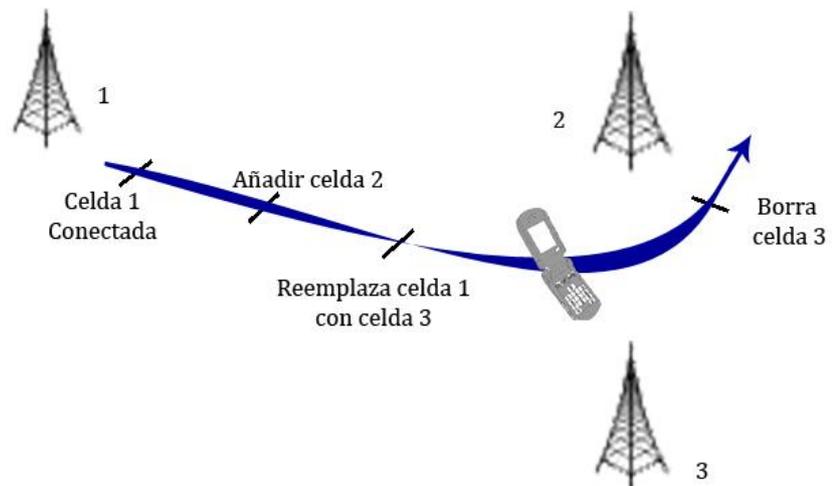


Figura 3.5 Soft handover¹⁴

Sin importar el tipo de handover, el mecanismo en WCDMA está controlado por la red con la asistencia de mediciones reportadas desde el lado del terminal. El Handover involucra 3 diferentes pasos: medición, decisión y ejecución.

Las mediciones hechas por la terminal móvil pueden ser transferidas a la red ya sea de forma periódica o pueden ser activadas por eventos. La primera opción puede consumir

¹⁴ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/Soft_handover.jpg

recursos de radio de forma innecesaria si no hay cambios en las condiciones de la interfaz de radio entre períodos de reportes consecutivos. Las mediciones, que pueden ser bastante específicas, pueden ser de diferentes categorías: intra-frecuencia (en la misma portadora de UTRAN), inter-frecuencia (en una portadora de UTRAN diferente), o inter-RAT (en una tecnología de acceso de radio diferente a UTRAN).

Las mediciones intra-frecuencia se usan para medir celdas vecinas en la misma capa jerárquica ya que usualmente las celdas que pertenecen a diferentes capas (micro celdas, macro celdas, etc) operan a diferentes frecuencias. Las mediciones inter-frecuencia puede darse en la misma capa jerárquica cuando múltiples portadoras son asignadas a una celda para incrementar su capacidad. Las mediciones Inter-RAT se dan cuando más de un RAT es desplegado en el área de servicio.

La decisión se da por medios de un algoritmo de handover, el cual no está estandarizado. Sin embargo, algunos algoritmos están recopilados en las especificaciones 3GPP [13], donde las decisiones tomadas son resultado de comparaciones relativas en mediciones CPICH.

3.3.4. Control de potencia

El propósito de esta estrategia es optimizar la potencia transmitida del móvil (uplink) y la potencia transmitida de la estación base (downlink).

Para ejecutar el control de potencia existen dos partes fundamentales:

- **Control de potencia de lazo interno:** El lazo interno de control de potencia es responsable ajustar rápidamente la potencia transmitida para así alcanzar al receptor con la relación E_b/N_0 requerida.
- **Control de potencia de lazo externo:** El lazo externo de control de potencia es responsable de seleccionar un E_b/N_0 adecuado dependiendo del BLER (Block Error Rate) o de BER (Bit Error Rate) requerido, y opera en una base de tiempo más lenta que el lazo interno de control de potencia, adaptando así el control de potencia con el ambiente. [14]

3.3.5. Ejemplo de la interacción entre las estrategias de RRM

El comportamiento general de la interfaz de aire en un momento determinado va a ser el resultado de las decisiones tomadas por las diferentes estrategias de RRM. Consideremos, por ejemplo, el caso reflejado en la figura 3.4. Asumamos que el usuario (1) está transmitiendo voz a través de un canal dedicado. El control de potencia en el lazo interno está operando para mantener la calidad del enlace. El usuario (2) está requiriendo el establecimiento de una videoconferencia, de tal forma que el algoritmo de control de admisión está corriendo para decidir si acepta o rechaza esta petición. El usuario (3) está envuelto en un procedimiento de soft-handover, añadiendo la celda contigua a su grupo activo. El usuario (4) está recibiendo un e-mail a través de la programación de paquetes de bajada. Asumiendo que, una vez que el usuario (2) ha sido admitido, este causa un aumento de interferencia mas allá de lo esperado por el algoritmo de control de admisión.

En este caso, los mecanismos de control de congestión son activados y la acción es la de bajar el email del usuario (4) en un bit rate más bajo.

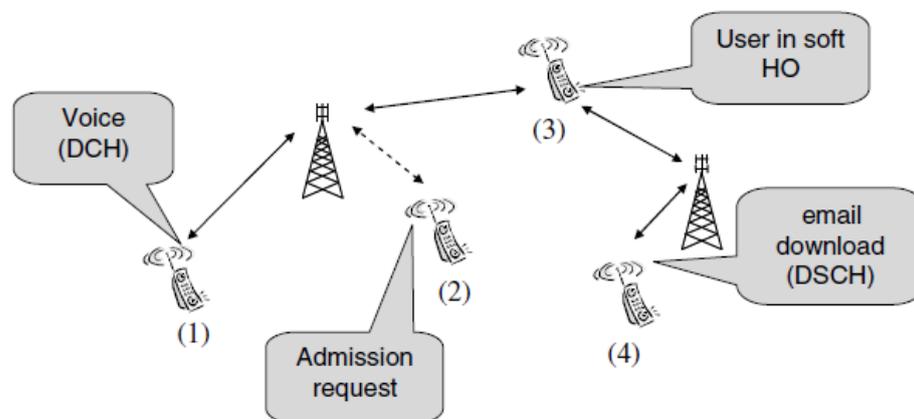


Figura 3.6 La interacción entre las funciones RRM¹⁵

El ejemplo dado revela el dinamismo en un sistema celular y la necesidad de una interacción controlada entre las diferentes funciones RRM, que siguen los principios de acción-reacción.

¹⁵ J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, M. Díaz-Guerra – “Radio Resource Management Strategies in UMTS”

CAPÍTULO 4

4. ALGORITMOS RRM

4.1. INTRODUCCIÓN

Como se mencionó anteriormente el problema en RRM es de una naturaleza dinámica inherente y debe considerar variaciones del sistema en términos de, por ejemplo, movilidad del usuario y generación de tráfico.

En este capítulo nos concentraremos en describir de manera general como funcionan algunos algoritmos que son usados como estrategias RRM para resolver los problemas que afectan las redes UMTS.

Se citarán algunos ejemplos de algoritmos encontrados en diferentes papers con los resultados obtenidos.

4.2. DESCRIPCIÓN DE UN ALGORITMO DE CONTROL DE CONGESTIÓN

Una de las estrategias usada para la administración de recursos de radio es el control de congestión.

Para implementar un control de congestión es necesario utilizar algoritmos que permitan evaluar la situación del sistema y tomar decisiones para resolver cualquier problema. A continuación se describirán los pasos que realiza un algoritmo de control de congestión.

4.2.1. Detección de congestión

Este es el primer paso en un algoritmo de control de congestión ya que es el encargado de analizar si el sistema ha alcanzado un nivel de congestión predeterminado para entonces tomar las acciones correspondientes y solucionar el problema basado en los parámetros fijados previamente en la red.

Estos parámetros son distintos en el uplink y downlink, para el caso del uplink el parámetro que se usa para detectar congestión en el sistema es el uplink load factor o factor de carga en uplink, mientras que en el downlink se monitorea el nivel de potencia transmitida.

De esta manera el criterio para decidir que un nodo B ha entrado en congestión sería de que el uplink load factor o el nivel de potencia transmitida superen el umbral establecido durante un cierto período de tiempo, por ejemplo $Nul > Ncd$ para el caso del uplink, y $Pt > Pcd$ para el caso del downlink; donde Nul representaría el load factor en uplink y Ncd el nivel de load factor permitido; así mismo Pt representaría la potencia transmitida y Pcd la potencia permitida en una transmisión.

El período de decisión de congestión ΔTcd es un punto clave a tomar en cuenta, ya que si se fija en un valor muy bajo, la resolución de congestión será activada con mucha frecuencia, así sea bajo fluctuaciones esporádicas del factor de carga las cuales se podrían resolver fácilmente sin necesidad de realizar acciones específicas que degradarían el desempeño de algunos usuarios de forma innecesaria.

Así mismo valores muy altos del período de detección ΔTcd ocasionarían un retardo en la resolución de la congestión, lo cual también podría degradar el desempeño de aquellos usuarios que son más sensibles a situaciones de sobrecarga.

4.2.2. Solución de la congestión

Luego de detectar la congestión mediante los parámetros mencionados anteriormente el algoritmo de solución de congestión ejecuta una serie de pasos para sacar al sistema de este estado y volverlo a la normalidad para así evitar la inestabilidad del mismo.

Prioridad: Las acciones realizadas por el algoritmo de control de congestión implican el tener que reducir el desempeño de ciertas conexiones para así alcanzar una mejora del sistema en su totalidad. Como resultado, el algoritmo de control de congestión tiene que establecer prioridad entre las diferentes conexiones dependiendo de la factibilidad de tomar acciones sobre alguna de ellas. Este proceso se realiza mediante una lista ordenada donde la cabeza de esta lista estará compuesta por las conexiones con menor prioridad las cuales serán las primeras en degradar su desempeño por las acciones de control de congestión.

Para construir esta lista se pueden tomar en cuenta diferentes criterios ya sea la política de la operadora, la calidad de servicio o algún otro aspecto técnico.

Reducción de Carga. Este proceso es el encargado de reducir el factor de carga en el uplink o la potencia transmitida en el downlink tomando las siguientes acciones en cuenta:

Bloquear nuevas conexiones que soliciten admisión. El bloqueo puede ser ejecutado para todas las clases o se puede fijar sus excepciones, por ejemplo aún estando en estado de congestión dejar entrar conexiones de usuarios que tengan una prioridad alta.

Limitar las capacidades de transmisión de ciertas conexiones de acuerdo con la lista de prioridad mencionada anteriormente. Esto se realiza limitando el TFCS (Transport Format Combination Set), el cual especifica la máxima tasa de bits que puede utilizar cierta conexión, para de esta manera reducir la interferencia generada por la misma. Esta solución es válida tanto para el uplink como para el downlink.

Forzar a un handover a determinados móviles. En este caso, la solución preferida sería un handover de inter-frecuencia ya que un handover de intra-frecuencia mantendría la interferencia generada por el usuario.

Comprobar la carga. La reducción de carga será ejecutada hasta que se cumplan las condiciones fijadas por la red con los

parámetros que se habían mencionado anteriormente para la detección de congestión.

De esta manera el criterio para saber si se ha superado un estado de congestión será determinado cuando en un cierto porcentaje p de frames en un período de observación de tiempo ΔT_{cr} el factor de carga y la potencia transmitida estén por debajo de los valores establecidos como umbrales ya sea N_{cr} o P_{cr} .

4.2.3. La recuperación de la congestión

Una vez que el algoritmo de solución de congestión ha terminado de hacer su trabajo y se haya decidido que el sistema ha salido del estado de congestión es necesario implementar un algoritmo de recuperación de congestión, este será el encargado de restaurar a los diferentes equipos móviles las capacidades de transmisión que ellos tenían antes de que haya iniciado la congestión del sistema, a excepción obviamente del caso en que se haya tenido que cortar una llamada la cual no se podría restaurar. Este procedimiento se realizará hasta que todos los usuarios afectados en su rendimiento por el algoritmo de

resolución de congestión hayan restaurado sus capacidades de transmisión.

En la fase de recuperación existen dos posibilidades para devolver a los usuarios la tasa de bits de conexión que tenían antes de que el sistema entrara en fase de congestión.

Recuperación lenta. Este algoritmo tiene un enfoque usuario por usuario; es decir, un usuario en particular va a poder transmitir a su máxima tasa de bits hasta que termine de enviar todos los paquetes que habían tenido algún tipo de restricción mientras el sistema se encontraba en fase de congestión, una vez que este usuario haya transmitido todos sus bits entonces se le dará paso a otro usuario para que pueda recobrar su máxima tasa de transferencia de bits y así sucesivamente

Recuperación rápida. Este algoritmo en cambio incrementa la tasa de bits de la lista de los usuarios frame por frame; es decir, en cada marco de tiempo un nuevo usuario va a recuperar su tasa de transmisión de bits inicial.

A continuación se presenta un diagrama de flujo con todos los pasos mencionados anteriormente del algoritmo de control de congestión.

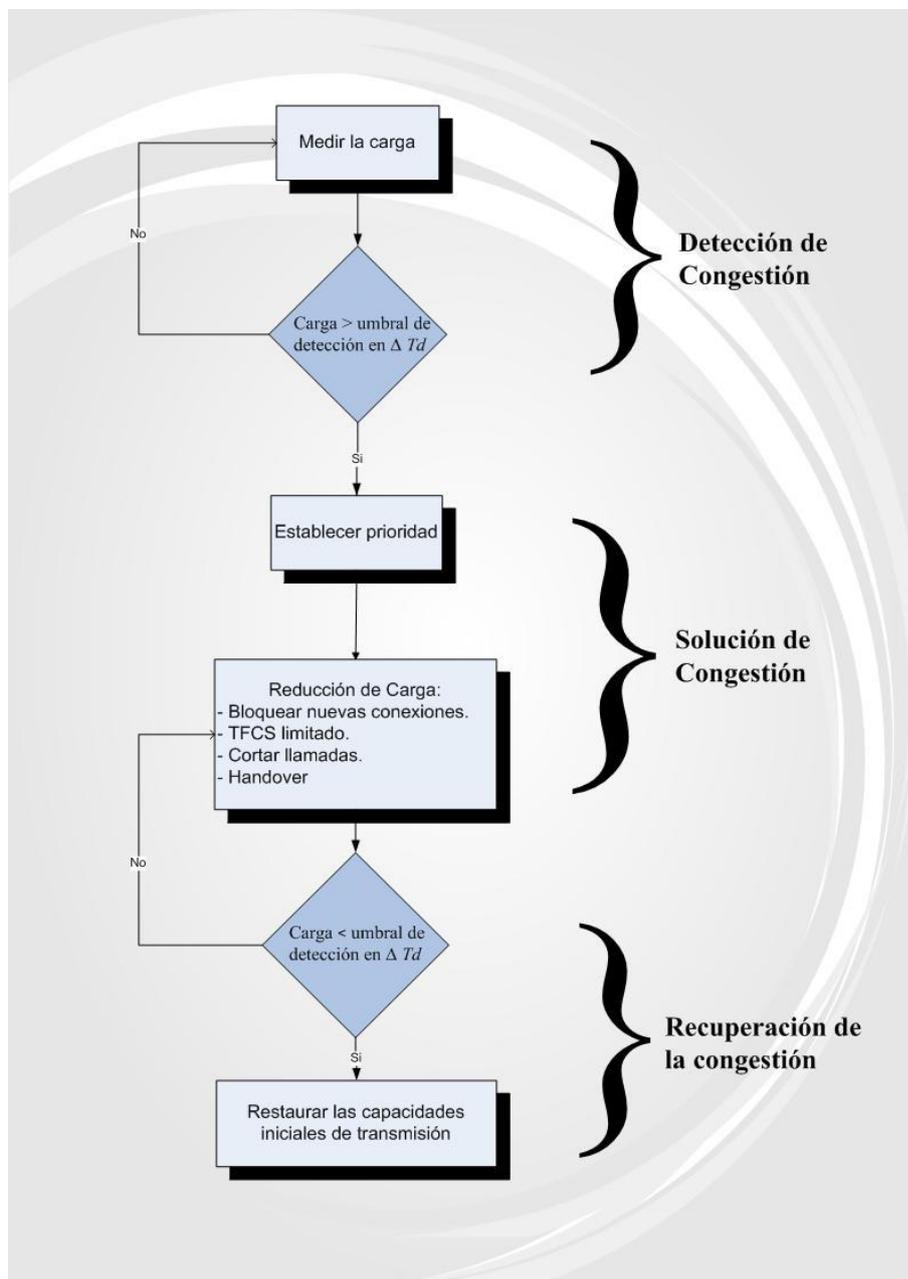


Figura 4.1 Pasos de un algoritmo de control de congestión¹⁶

¹⁶ Los autores

4.3. DESCRIPCIÓN DE UN ALGORITMO DE CONTROL DE ADMISIÓN

Los algoritmos de control de admisión en UTRAN FDD apuntan a decidir la aceptación o rechazo de nuevas portadoras de acceso de radio o la reconfiguración de portadoras de radio existentes en las redes de acceso dependiendo de la disponibilidad de los recursos y el QoS requerido. En un escenario WCDMA, donde no hay límite en la capacidad del sistema, el control de admisión debe operar dinámicamente dependiendo en la cantidad de interferencia que cada portadora de acceso de radio agregue al resto de las conexiones existentes.

Desde el punto de vista del desempeño, hay diferentes indicadores para evaluar y comparar los algoritmos de control de admisión. Típicamente, la probabilidad de admisión o la probabilidad de bloqueo se usan como parámetros para medir la accesibilidad al sistema provisto por cierto algoritmo.

Sin embargo, la evaluación en términos de accesibilidad debería ser complementada con otros indicadores como por ejemplo, la probabilidad de enlaces caídos, el BLER, el retardo o la probabilidad de interrupción; de tal forma que vemos el impacto que tiene el incremento de la interferencia sobre la conexión existente. Se puede

notar que existe una relación entre la probabilidad de bloqueo y el BLER, porque mediante el establecimiento de algoritmos de control de admisión bastante estrictos la interferencia y, consecuentemente el BLER, pueden ser controlados. De cualquier forma, si el control de admisión se suaviza para reducir el bloqueo, esto se lograría a expensas del empobrecimiento del control de interferencia llevando a un mayor BLER.

Los siguientes eventos deben ser minimizados por el control de admisión:

- Malos o falsos rechazos, los cuales ocurren cuando sea que el algoritmo de control de admisión rechaza una petición de conexión así hayan los suficientes recursos en el sistema para ubicarlo. En este caso, la capacidad es desperdiciada y el ingreso del operador no es óptimo. Los malos rechazos pueden deberse a la excesiva rigidez de los algoritmos de control de admisión o estimaciones del incremento en la interferencia muy elevadas.
- Malas o falsas admisiones, las cuales ocurren cuando el algoritmo de control de admisión acepta una petición de conexión así no haya suficiente capacidad en el sistema para ubicarla. En este caso, las garantías de QoS no son provistas y la satisfacción del usuario disminuye.

4.3.1. Ejemplos de algoritmos de control de admisión

En esta sección se presentan dos algoritmos como ejemplos de estrategias de control de admisión que se describen en el paper “An Admission Control Algorithm for WCDMA Considering Mobile Speed and Service Characteristics” que se lo puede encontrar como referencia en el inciso [15] al final de este trabajo.

A continuación presentaremos una breve descripción de estos algoritmos denominados PABAC y PLEBAC respectivamente.

- **Algoritmo PABAC (Power Averaging Based Admission Control)**

Este algoritmo se basa en estimar la potencia requerida por los nuevos usuarios que se quieren conectar con la red para compararla con el nivel de potencia disponible de la estación base y saber si este nodo tiene la potencia suficiente para satisfacer los requerimientos de los usuarios existentes.

La manera como estiman esta potencia es lo que diferencia a estos algoritmos.

La siguiente fórmula demuestra como el algoritmo PABAC estima la potencia requerida por los nuevos usuarios que desean conectarse a la red:

$$\Delta P_T(i) = \frac{P_{AV} - P_C}{N}$$

Donde N es el número de usuarios que ya han sido aceptados en la celda en un intervalo i. P_{AV} es la potencia promedio transmitida por un nodo B, P_T es la potencia establecida como umbral (Threshold) y P_C es la potencia destinada a los canales de control común. En esta estimación se asume que todos los usuarios tienen el mismo requerimiento de bit rate.

Este algoritmo se especializa cuando la movilidad no es un factor importante.

- **Algoritmo PLEBAC (Path Loss Estimation Based Admission Control)**

Este algoritmo define la estimación de la pérdida por recorrido (Path Loss) de la siguiente manera:

$$PL_K(dB) = PL_O(dB) + k\Delta(dB)$$

$$\Delta P_T(k, i, r, b) = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^T \frac{1}{N_{k,i-j}} \sum_{n=1}^{N_{k,i-j}} P_{T,n}(i-j)$$

Donde $N_{k,i-j}$ es el número de usuarios aceptados con un bit rate rb .

Al comparar ambos algoritmos se observan los siguientes resultados.

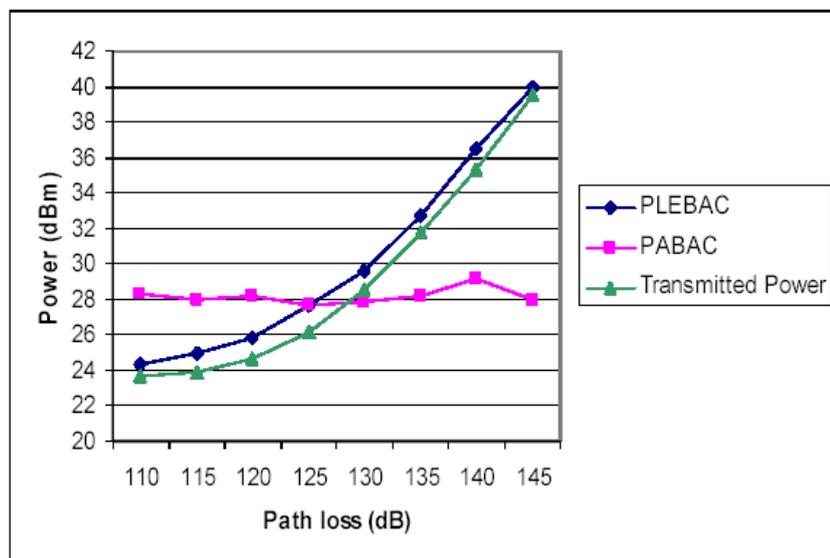


Figura 4.2 Algoritmos PLEBAC y PABAC¹⁷

¹⁷ Paper "An Admission Control Algorithm for WCDMA Considering Mobile Speed and Service Characteristics" escrito por J. Sánchez González, J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí

En la figura anterior se puede observar el desempeño de ambos algoritmos donde el algoritmo PLEBAC mantiene un nivel de potencia constante mientras aumenta el path loss en cambio el algoritmo PABAC va a aumentando el nivel de potencia mientras el path loss aumenta. De aquí podemos concluir que el algoritmo PLEBAC es más eficiente en términos de movilidad del usuario.

4.4. DESCRIPCIÓN DE UN ALGORITMO DE HANDOVER

La decisión para ejecutar un procedimiento de Handover está basada mayormente en mediciones reportadas por el UE sobre el downlink y mediciones hechas por la red sobre el uplink y también sobre el estado del sistema en general. Las decisiones no se basan solamente en condiciones de radio, pueden relacionarse a otras razones, tales como controlar la distribución de tráfico entre las diferentes celdas.

4.4.1. Pasos generales en un proceso de Handover

Un proceso de handover envuelve las siguientes funciones:

- 1. Mediciones.** Las mediciones se realizan por la terminal móvil en la lista de celdas vecinas, la cual es enviada por la red. También puede ser enviada en el mensaje de control de medición del RRC.
- 2. Algoritmo de Handover.** Basado en los reportes de las mediciones por la terminal móvil, la red lleva a cabo el algoritmo de handover para decidir el instante específico en el cual un soft-handover o hard-handover, intra RAT o inter RAT debe darse.
- 3. Handover.** Una vez que el handover se ha decidido, la ejecución envuelve los procedimientos de señalización requeridos para activar o remover enlaces de radio en las diferentes celdas o RATs de acuerdo al procedimiento RRC adecuado dependiendo en el tipo de Handover.

4.4.2. Handover intra-frecuencia

Las diferentes celdas UTRAN operando con la misma portadora pueden pertenecer a tres grupos, específicos en cada terminal:

- Grupo Activo: Incluye las celdas a las cuales el móvil está conectado simultáneamente

- Grupo Monitoreado: Incluye la celda que la terminal mide y reporta pero que no están incluidas en el grupo activo.
- Grupo Detectado: Incluye el resto de celdas que la terminal es capaz de detectar pero no están incluidas en la lista de celdas en el protocolo de RRC. Por lo que no se envían reporte de mediciones de dichas celdas.

EL handover intra-frecuencia controla como las diferentes celdas son agregadas o removidas del grupo activo basado en el reporte de mediciones, el cual puede incluir el CPICH RSP, el CPICH y/o la pérdida de camino por cada celda.

4.4.3. Handover Inter-frecuencia

Este handover es ejecutado en el UTRAN en 2 diferentes escenarios:

1. Celdas con múltiples portadoras. La forma más inmediata de incrementar la capacidad de la celda es incluyendo nuevas portadoras en los nodos B actuales. Luego, después de una petición de servicio, si la condición de admisión no se

mantiene en la portadora a la cual el móvil se conecta, será posible establecer el servicio en una portadora diferente.

2. Estructuras celulares jerárquicas. Estas estructuras incluyendo las macro, micro y picoceldas han sido ampliamente desplegadas en redes 2G con el fin de incrementar la capacidad usando celdas de tamaños reducidos. Sin embargo, en el caso de las redes WCDMA, la gran superposición que existe entre capas, la cual causa un exceso de interferencia entre celdas, normalmente requiere que cada capa opere con una portadora diferente. En este caso, un handover inter-frecuencia puede ser requerido para transferir tráfico de una capa a otra.

4.5. CONTROL DE POTENCIA

4.5.1. Control de potencia de lazo abierto

El control de potencia es realizado en el equipo terminal (UE). Este se activa en el momento en que el equipo terminal inicia su transmisión. Es decir el momento en que el equipo quiere acceder a la red utiliza el control de potencia de lazo abierto

para fijar los valores de potencia tanto para el uplink como para el downlink. Los valores para el control de potencia en lazo abierto para condiciones normales es de $\pm 9db$, en condiciones extremas es de $\pm 12db$.

El equipo terminal se ayuda del canal de piloto común "CPICH" el cual recibe lecturas de potencia del Nodo B. Estas lecturas de potencia tiene relación con la pérdida por recorrido o también llamado "path loss", lo cual sirve para que el equipo terminal pueda hacer una estimación de la distancia a la que se encuentra del Nodo B, de esta manera el equipo terminal puede establecer un nivel de potencia de transmisión de señal de acuerdo a estas lecturas.

4.5.2. Control de potencia de lazo cerrado

Se pueden distinguir dos tipos de control de potencia aquí:

- Control de potencia de lazo cerrado interior.
- Control de potencia de lazo cerrado exterior.

Control de potencia de lazo cerrado interior

En el uplink es la habilidad del transmisor del equipo terminal de ajustar su potencia de salida de acuerdo con uno o más comandos del control de transmisión de potencia "TPC" recibidos en el downlink, y así lograr mantener la tasa de señal a interferencia (*signal to interference ratio* o también llamado *SIR*) a un nivel predeterminado. La interfaz de aire en WCDMA está organizada por frames. Cada frame dura 10ms y en cada uno de ellos hay 15 time slots. Hay un comando de TPC por cada time slot y un nivel de potencia fija durante ese time slot. Por lo tanto la frecuencia del control de potencia de lazo cerrado interior es de 1500Hz.

Las celdas se encargan de estimar el SIR del DCPH recibido en el uplink, generan los comandos TPC y transmiten esos comandos uno por spot de acuerdo a la siguiente regla [20] :

El comando TPC transmite un cero si $SIR_{est} > SIR_{target}$.

El comando TPC transmite un uno si $SIR_{est} < SIR_{target}$.

Control de lazo cerrado exterior

Es usado para mantener la calidad de la comunicación con el nivel de potencia más bajo posible calculando el SIR del objetivo. Se encarga de fijar el SIR recibido de acuerdo con el

BLER (Block Error Rate) para alcanzar los niveles requeridos del mismo. Su frecuencia de actualización es de 10-100Mhz. El control de lazo cerrado exterior es diferente para el uplink y para el downlink.

En el caso del uplink fija el SIR del objetivo para cada control de potencia de lazo cerrado interno del Nodo B.

Para el caso del downlink el control de potencia de lazo cerrado exterior opera principalmente en el equipo terminal, este es el responsable de la convergencia de la calidad de enlace requerida por el RNC (Radio Network Controller).

CAPÍTULO 5

5. SIMULACIONES

5.1. INTRODUCCIÓN

En los capítulos anteriores se ha descrito algunos de los problemas que afectan la comunicación de un sistema de tercera generación así como también una descripción general de las estrategias de administración de recursos de radio (RRM) usadas para corregir estos problemas.

En este capítulo se analizarán dos algoritmos en particular usados para controlar la potencia en el downlink. Estos algoritmos son extraídos del paper "Performance Analysis of Downlink Power Control in CDMA

Systems” que tiene su referencia en el inciso [16] al final de este trabajo. Estos algoritmos son el algoritmo Multiple Step Power Control (MSPC) y el algoritmo Adaptive Step Power Control (ASPC).

Para desarrollar este análisis contaremos con un software de simulación llamado MatLab [17]; para simular estos algoritmos se desarrollará un pequeño programa en C que será ingresado a través de la herramienta M-file Editor [18] que nos proporciona MatLab y así adaptar los requerimientos de cada algoritmo para obtener los respectivos resultados. Al momento de realizar la simulación de estos algoritmos es necesario fijar valores constantes tales como el número de móviles en la celda, la distancia mínima a la estación base, el umbral de potencia mínimo entre otros; estos valores servirán para establecer un escenario apto para la simulación.

5.2. CONTROL DE POTENCIA DE MÚLTIPLES PASOS (MSPC)

MSPC son las siglas de Multiple Step Power Control (Control de Potencia de Múltiples Pasos), este es un algoritmo de control de potencia de lazo cerrado el cual se encarga de ajustar la potencia transmitida por la estación base usando la retroalimentación proporcionada por el equipo móvil. La estación base actualiza su

potencia transmitida para un móvil determinado basándose en el SIR promedio que recibe el móvil. Estas actualizaciones se dan en múltiples pasos de ahí su nombre.

5.2.1. Descripción del Algoritmo MSPC

El algoritmo MSPC opera de acuerdo a los siguientes pasos:

- El equipo móvil mide el valor observado del SIR durante un período de tiempo y lo compara con un valor predeterminado que es el umbral del SIR o también llamado *SIR threshold*.
- Si el valor del SIR observado es mayor que el umbral permitido entonces el equipo móvil envía un comando de reducción de potencia, si el valor del SIR observado es menor que el umbral permitido entonces el equipo móvil envía un comando de aumento de potencia.
- La estación base se encarga de interpretar los comandos recibidos de cada móvil y actualiza la potencia transmitida.
- Las actualizaciones de control de potencia ocurren en múltiples pasos de tamaño fijo.

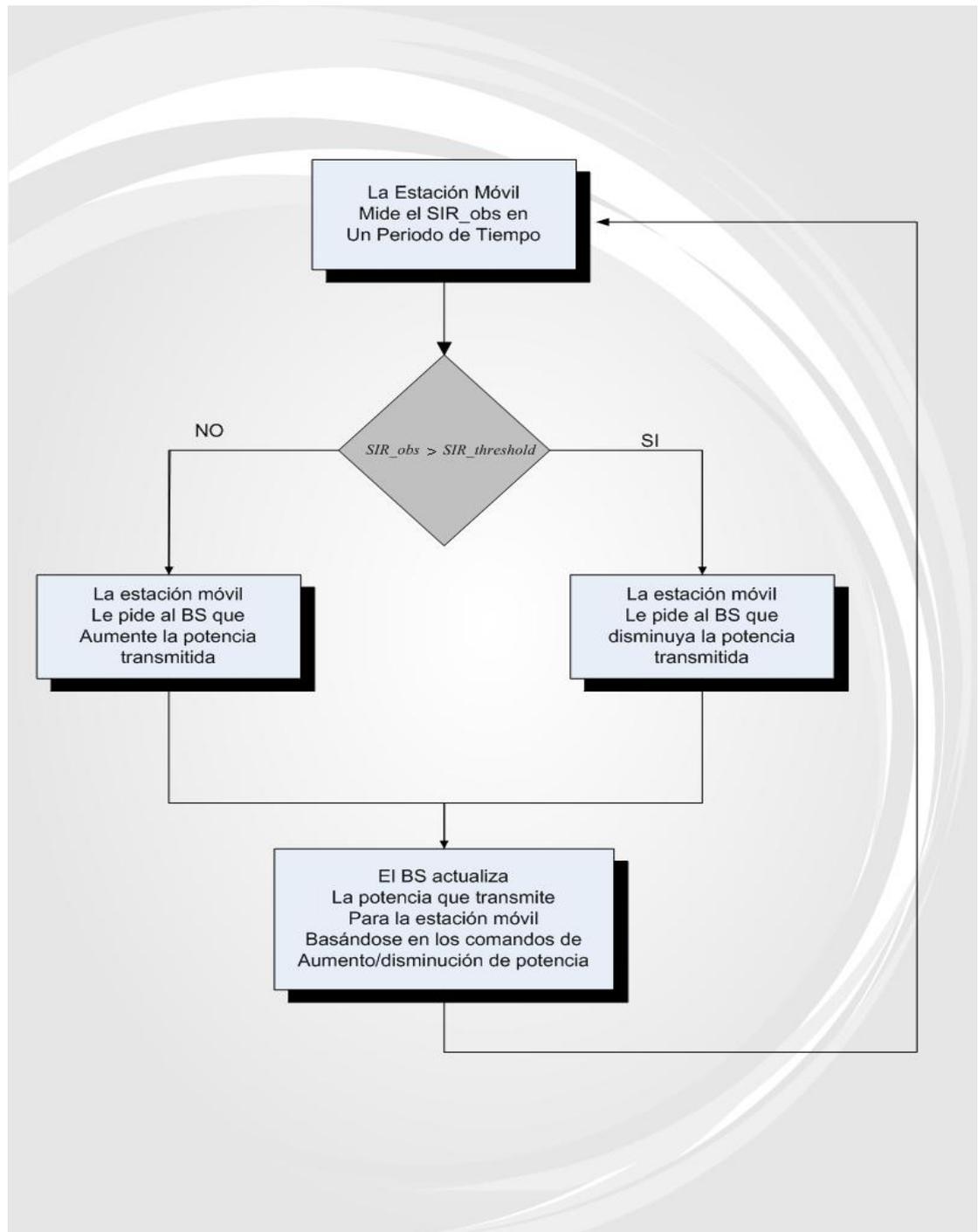


Figura 5.1 Diagrama del Algoritmo MSPC¹⁸

¹⁸ Los autores

5.2.2. Simulación MSPC

La programación usada para simular estos algoritmos será incluida como anexo al final de este trabajo. Se analizará el comportamiento de los algoritmos cuando la celda tiene 50, 100 y 200 móviles respectivamente.

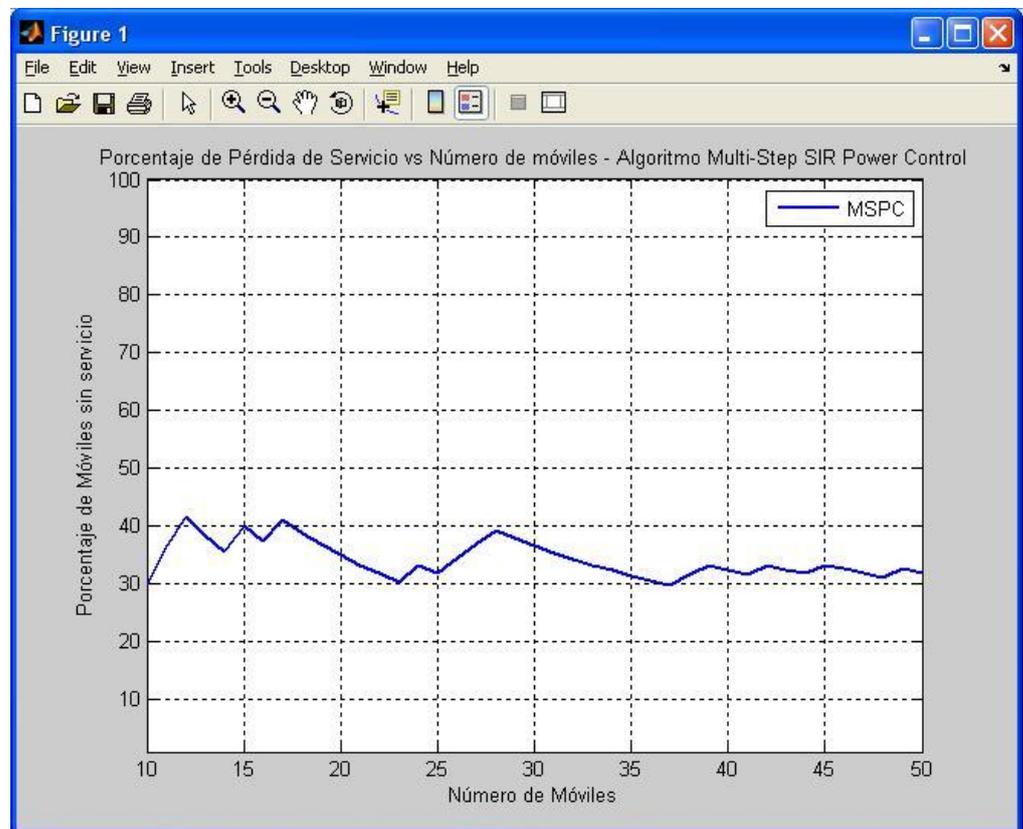


Figura 5.2 Algoritmo MSPC 50 móviles¹⁹

¹⁹ Los autores

En la figura 5.2 se puede observar la primera simulación que realizamos con el algoritmo MSPC para la cual se fijó una cantidad de 50 móviles en una celda.

En este caso podemos observar que para los primeros 30 móviles hay algunos picos que llegan hasta un 40% de probabilidad de pérdida de servicio pero al llegar a 35 móviles la curva se va estabilizando alrededor de un 30%.

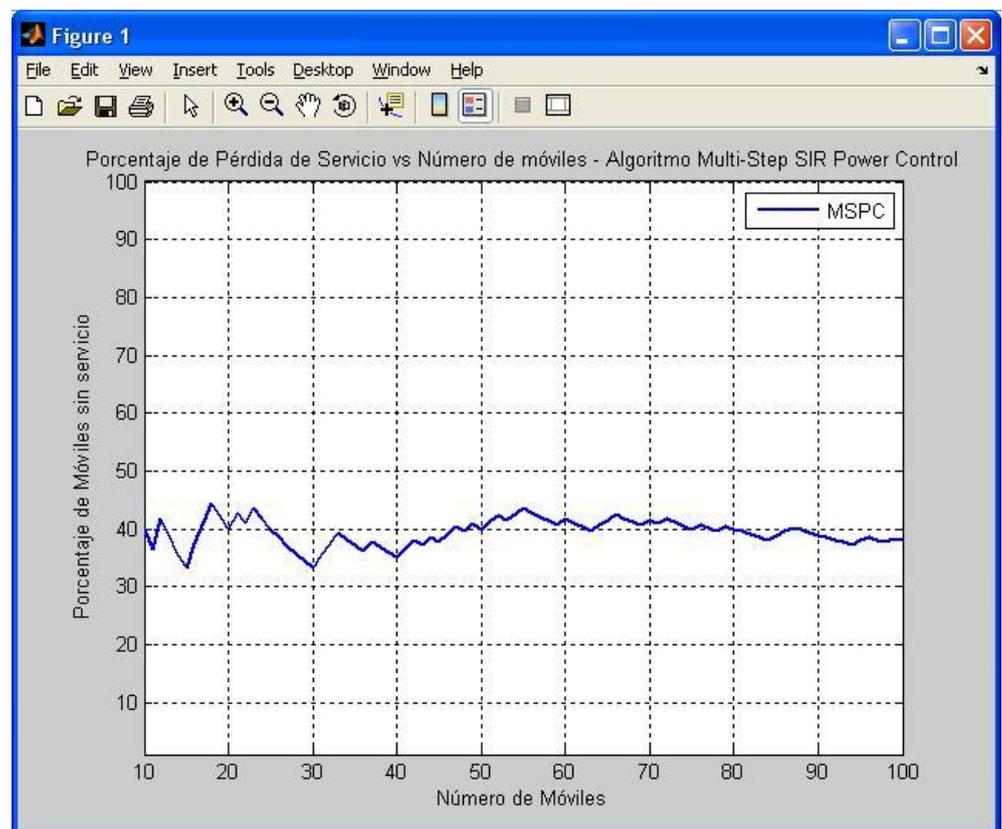


Figura 5.3 Algoritmo MSPC 100 móviles²⁰

²⁰ Los autores

En la figura 5.3 se observa el comportamiento del algoritmo MSPC cuando la celda tiene 100 móviles. En este caso se puede ver un comportamiento más estable de la curva ya que tiende a mantenerse en un 40%.

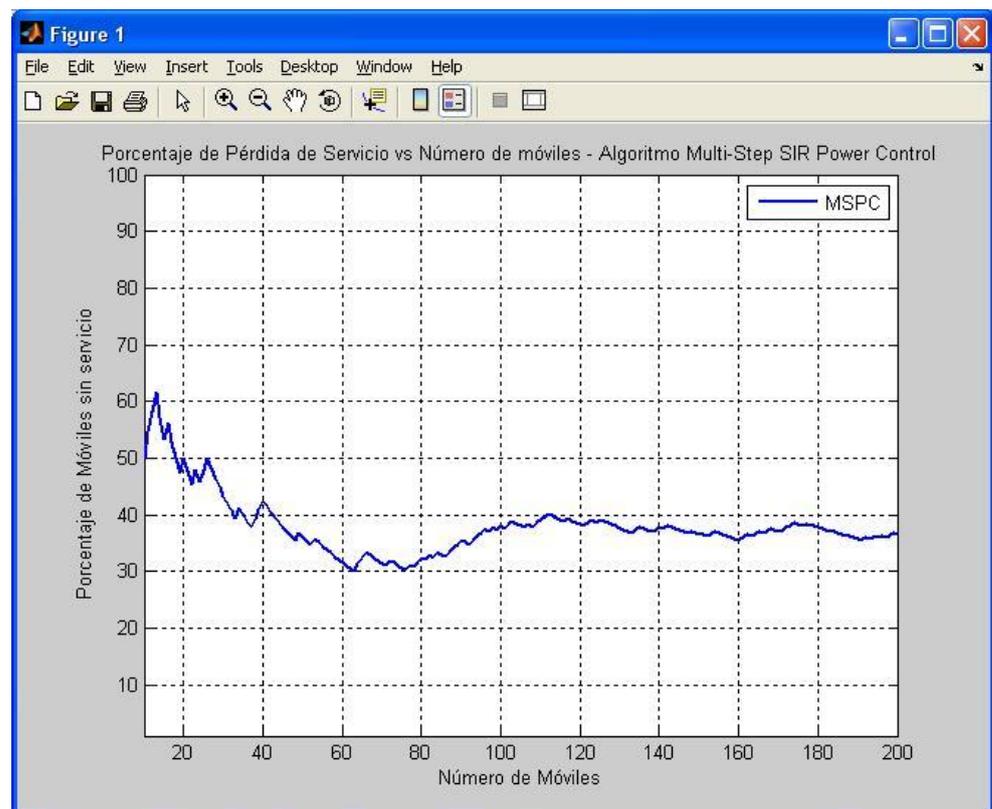


Figura 5.4 Algoritmo MSPC 200 móviles²¹

En la figura 5.4 observamos el comportamiento del algoritmo cuando la celda tiene 200 móviles.

²¹ Los autores

En este caso en particular vemos una curva un poco más variada que las anteriores tanto así que al inicio de la gráfica hay un pico que llega hasta un 60% de probabilidad de pérdida del servicio pero luego va tomando el patrón de las otras gráficas presentadas anteriormente estabilizándose alrededor de un 40%.

Cabe destacar que el algoritmo cada vez que sea simulado no va a tener los mismos resultados ya que las distancias de los móviles se generan de manera aleatoria, sin embargo el patrón de la curva va a ser el mismo.

5.3. CONTROL DE POTENCIA DE PASO ADAPTABLE (ASPC)

ASPC son las siglas de Adaptive Step Power Control (Control de Potencia de Paso Adaptable), este también es un algoritmo de control de potencia de lazo cerrado que inicialmente fue creado para el control de potencia en el uplink usando pasos adaptables a diferencia del algoritmo anterior (MSPC) que usaba tamaños de paso fijo de esta manera se logra alcanzar una convergencia más rápida para evitar la probabilidad de que un móvil se quede sin servicio. Este algoritmo fue adaptado para el downlink según [19].

5.3.1. Descripción del Algoritmo ASPC

- Los equipos móviles miden el valor observado del SIR en cada iteración y lo comparan con el SIR predeterminado como el umbral.
- Si el valor del SIR observado es mayor que el umbral permitido entonces el equipo móvil envía un comando de reducción de potencia, si el valor del SIR observado es menor que el umbral permitido entonces el equipo móvil envía un comando de aumento de potencia.
- El primer comando de actualización de potencia es tomado como una modificación de paso fijo. Sin embargo el tamaño del paso puede cambiar dinámicamente si la retroalimentación proporcionada por el móvil pide un cambio de potencia en la misma dirección por ejemplo dos comandos que pidan aumento de potencia da como resultado un paso de tamaño más grande.
- La estación base interpreta los comandos recibidos de cada móvil y actualiza la potencia transmitida.
- Las actualizaciones de control de potencia ocurren en múltiples pasos de diferentes tamaños.

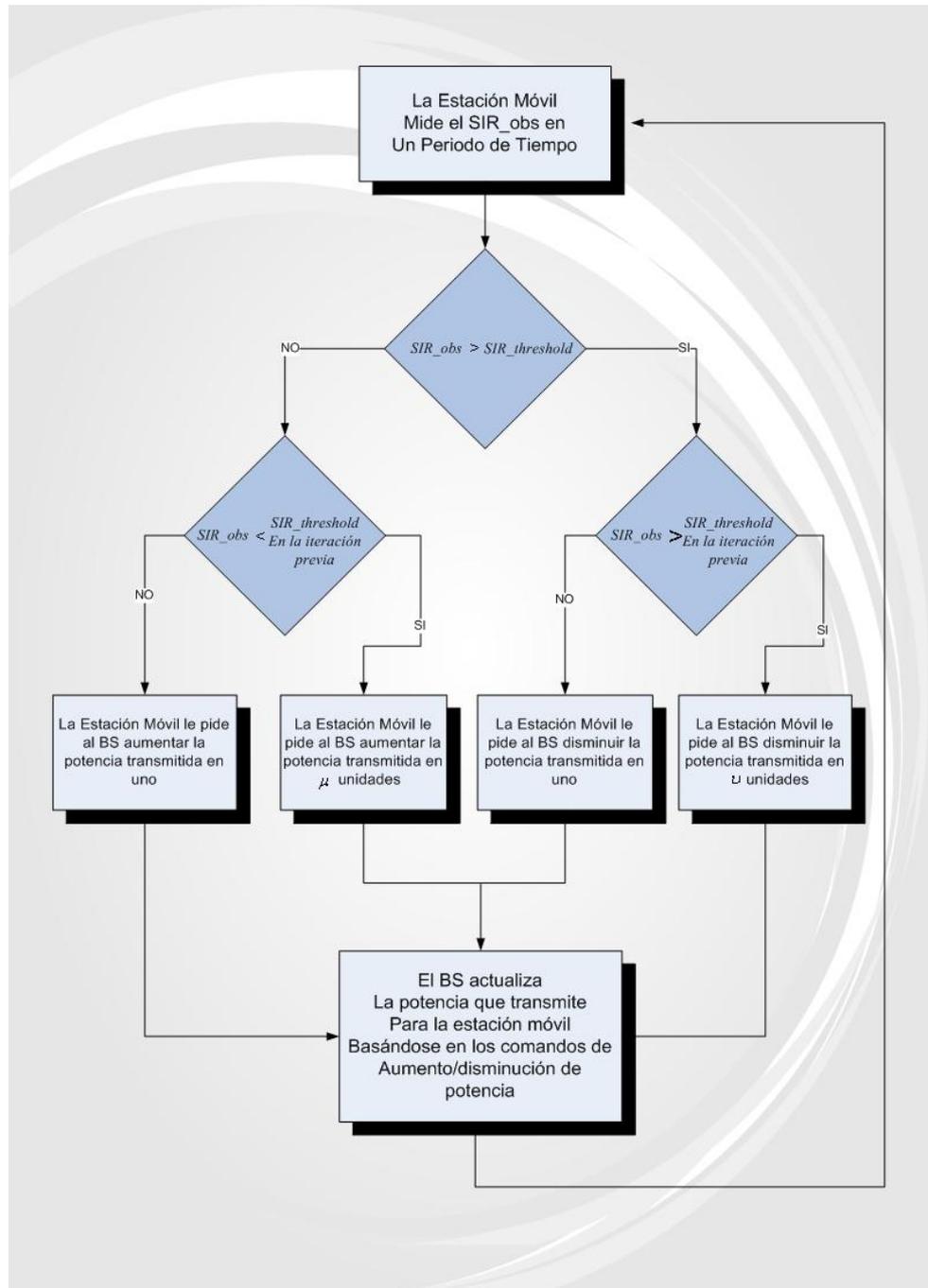


Figura 5.5 Diagrama del Algoritmo ASPC²²

²² Los autores

5.3.2. Simulación ASPC

A continuación se muestran las gráficas obtenidas al simular el algoritmo de control de potencia MSPC usando MatLab. Se analizará el comportamiento de los algoritmos cuando la celda tiene 50, 100 y 200 móviles respectivamente.

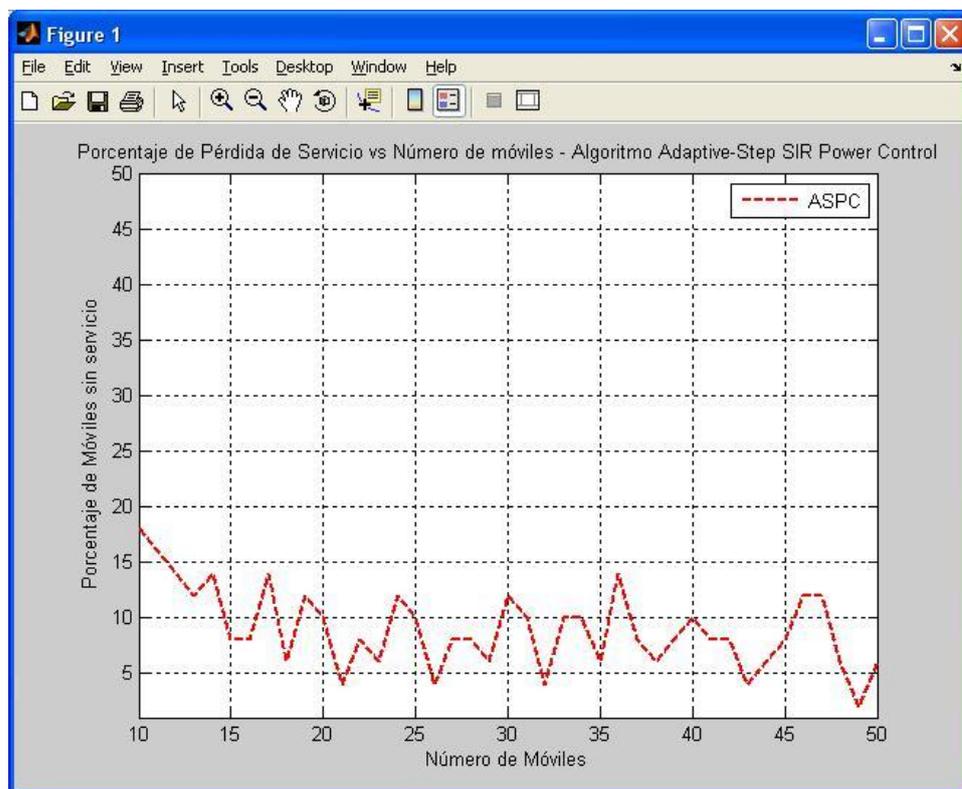


Figura 5.6 Algoritmo ASPC 50 móviles²³

²³ Los autores

En la figura 5.6 se puede observar la simulación del algoritmo ASPC cuando la celda tiene 50 móviles. Se puede ver claramente que la curva tiene un comportamiento variado. Sus picos varían entre el 5% y 15% de probabilidad de pérdida de servicio.

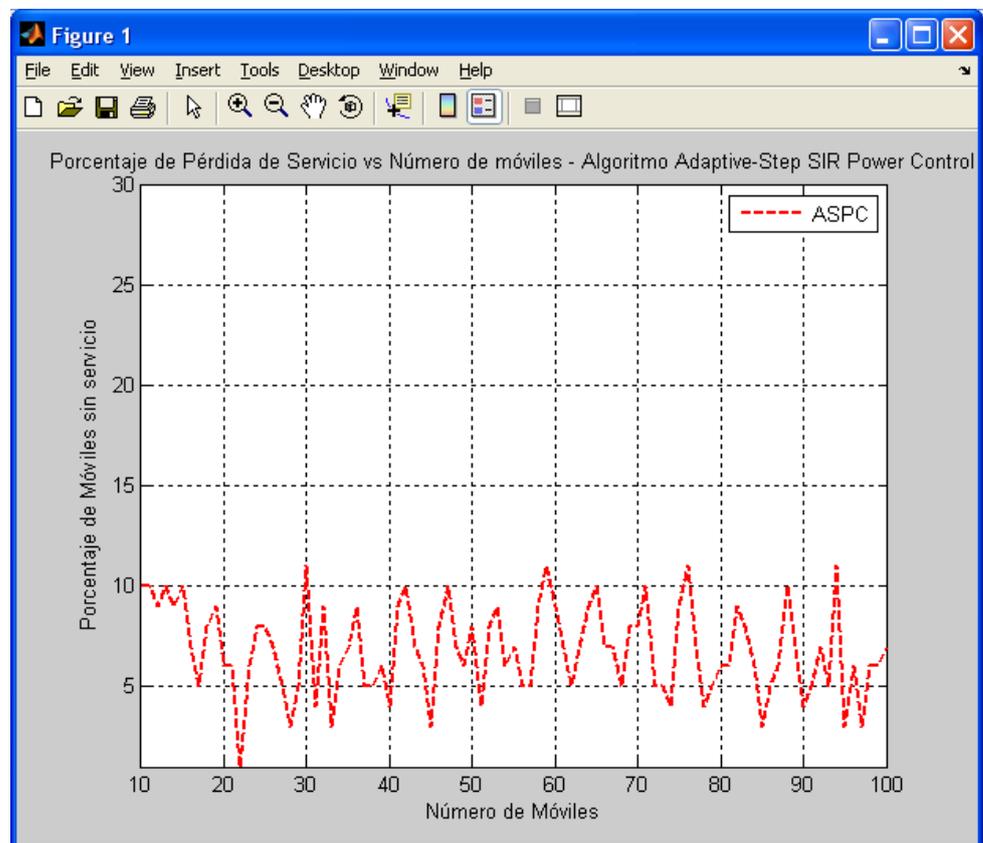


Figura 5.7 Algoritmo ASPC 100 móviles²⁴

²⁴ Los autores

En la figura 5.7 encontramos la simulación del algoritmo ASPC cuando la celda tiene 100 móviles. Se puede observar como esta vez los picos de la gráfica tienen varían entre casi el 5% y 10% de probabilidad de pérdida de servicio.

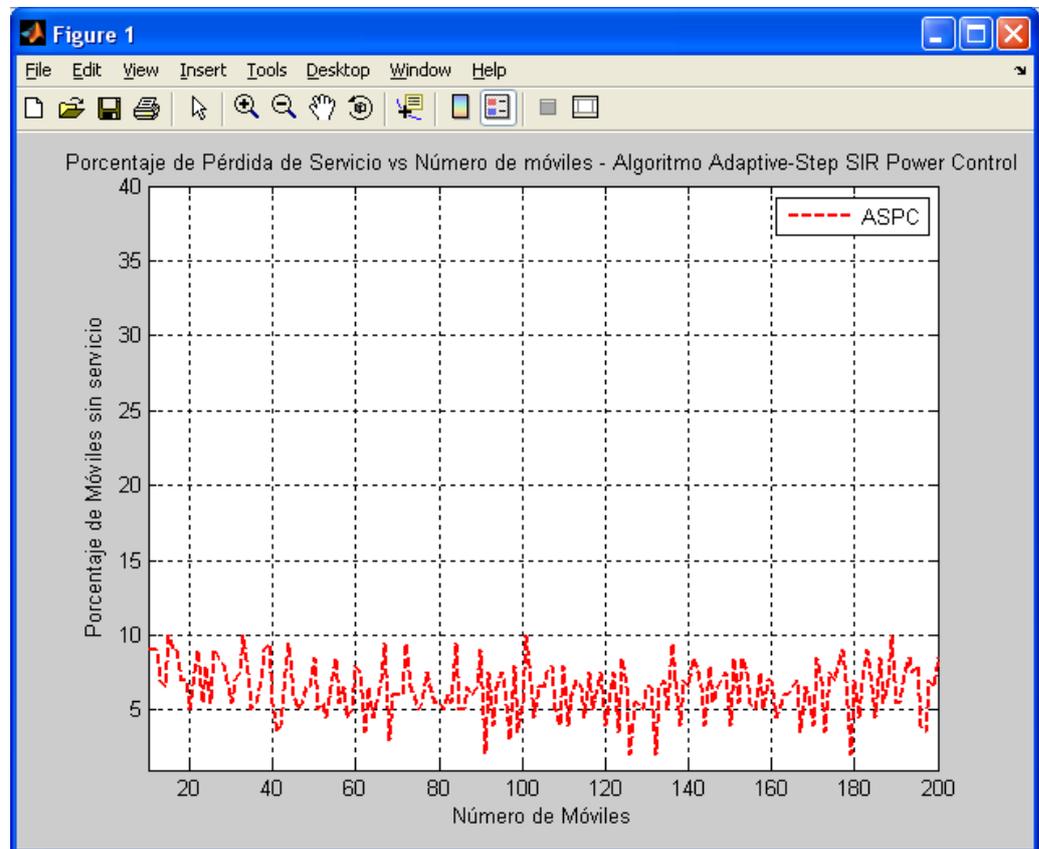


Figura 5.8 Algoritmo ASPC 200 móviles²⁵

²⁵ Los autores

Finalmente en la figura 5.8 tenemos el comportamiento del algoritmo ASPC cuando la celda tiene 200 móviles. Se puede observar que comparte el mismo patrón que la gráfica anterior manteniéndose entre un 5 y 10% de probabilidad de pérdida de servicio.

Nos dimos cuenta que al aumentar el número de móviles se redujo en un 5% el límite que alcanzaban los picos de la curva ya que antes para 50 móviles el pico más alto llegaba a un 15% aproximadamente y para 100 y 200 móviles el pico más alto llega a un 10% aproximadamente.

5.4. MSPC vs. ASPC

En esta sección vamos a simular ambos algoritmos a la vez y mostrarlos en una misma gráfica para comparar sus resultados de tal manera que podamos identificar el algoritmo más óptimo.

Así mismo como en las secciones anteriores las simulaciones se llevarán a cabo para cuando la celda tiene 50, 100 y 200 móviles respectivamente, de esta manera se podrán observar las diferencias de los algoritmos para diferentes números de usuarios.

5.4.1. Simulaciones MPSC vs. ASPC

A continuación se muestran las gráficas obtenidas al simular ambos algoritmos usando MatLab.

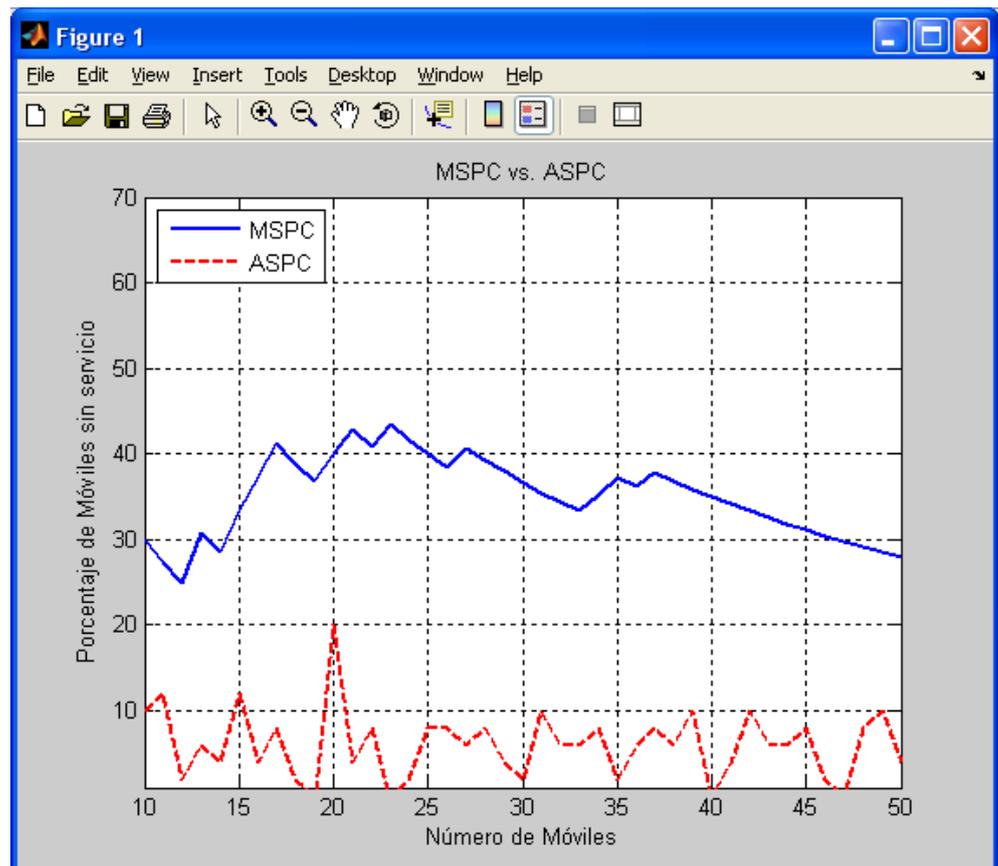


Figura 5.9 MSPC vs. ASPC 50 móviles²⁶

En la figura 5.9 observamos la simulación de ambos algoritmos cuando hay 50 móviles en una celda. La gráfica azul representa

²⁶ Los autores

la curva del algoritmo MSPC mientras que la gráfica roja de líneas entrecortadas representa el algoritmo ASPC. Se puede observar claramente que el algoritmo ASPC nos proporciona una menor probabilidad de que los usuarios en una celda se queden sin servicio ya que esta gráfica oscila en un valor del 10% mientras que el algoritmo MSPC tiene una variación de su curva entre 40% y 30%.

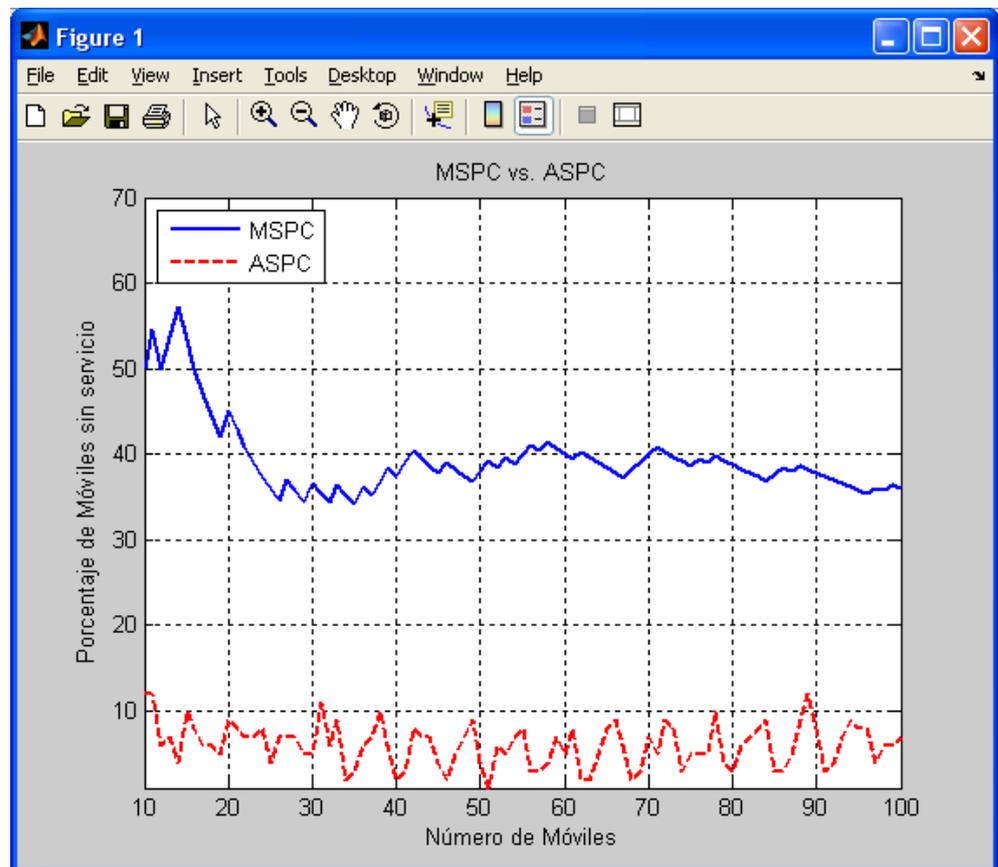


Figura 5.10 MSPC vs. ASPC 100 móviles²⁷

²⁷ Los autores

La figura 5.10 nos muestra la simulación de ambos algoritmos cuando la celda tiene 100 móviles. En este caso el algoritmo MSPC estabiliza su curva en una probabilidad de corte de aproximadamente un 40% mientras que el algoritmo ASPC oscila entre 0 y 10%.

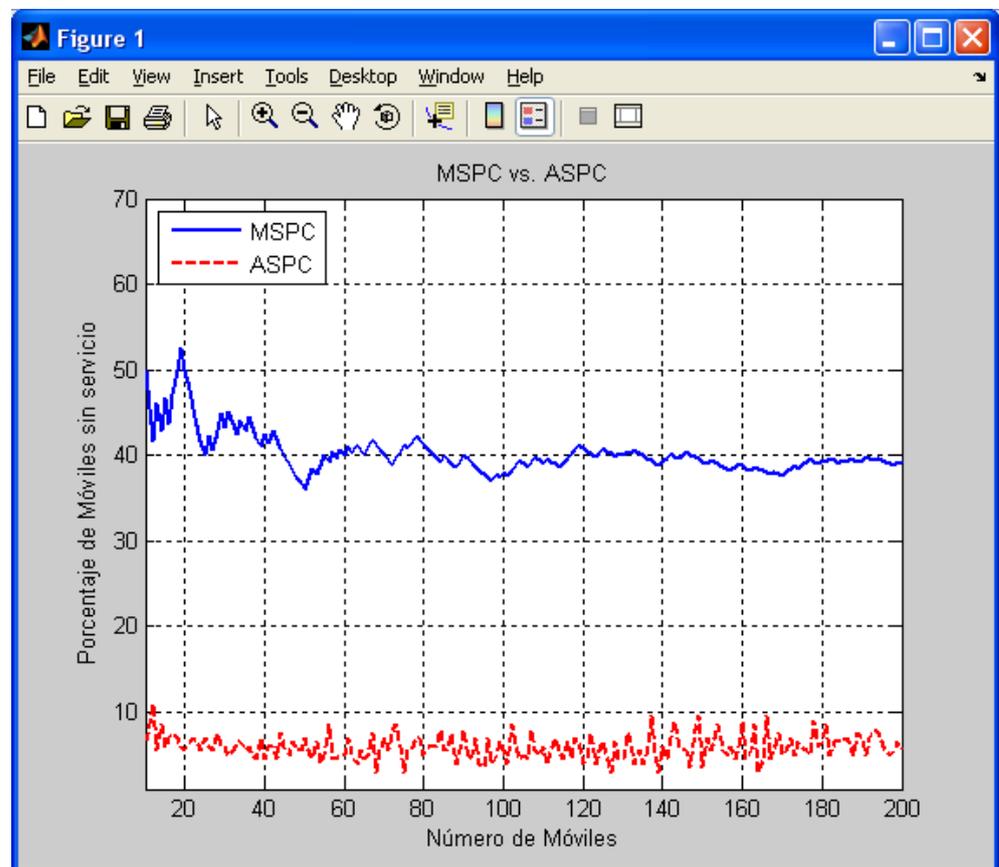


Figura 5.11 MSPC vs. ASPC 200 móviles²⁸

²⁸ Los autores

Finalmente en la figura 5.11 comparamos ambos algoritmos cuando la celda tiene 200 usuarios. Al igual que en las gráficas anteriores se puede observar como para esta cantidad de móviles el algoritmo ASPC es el que nos proporciona la menor cantidad de usuarios que podrían sufrir un corte en el servicio. A continuación se presentan dos gráficas estadísticas de las simulaciones realizadas del algoritmo MSPC y el algoritmo ASPC donde se observa de una mejor manera el porcentaje de móviles que mantienen su servicio.

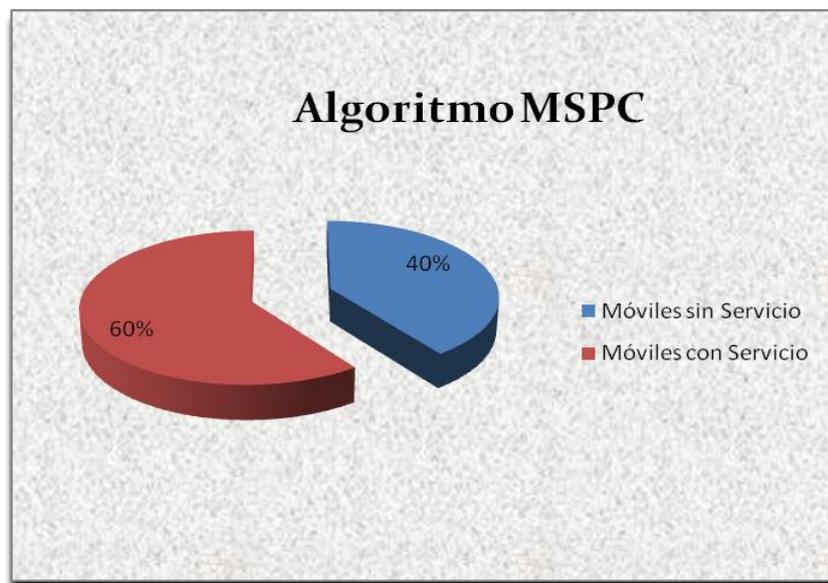


Figura 5.12 Gráfico estadístico de las simulaciones del algoritmo MSPC²⁹

²⁹ Los autores

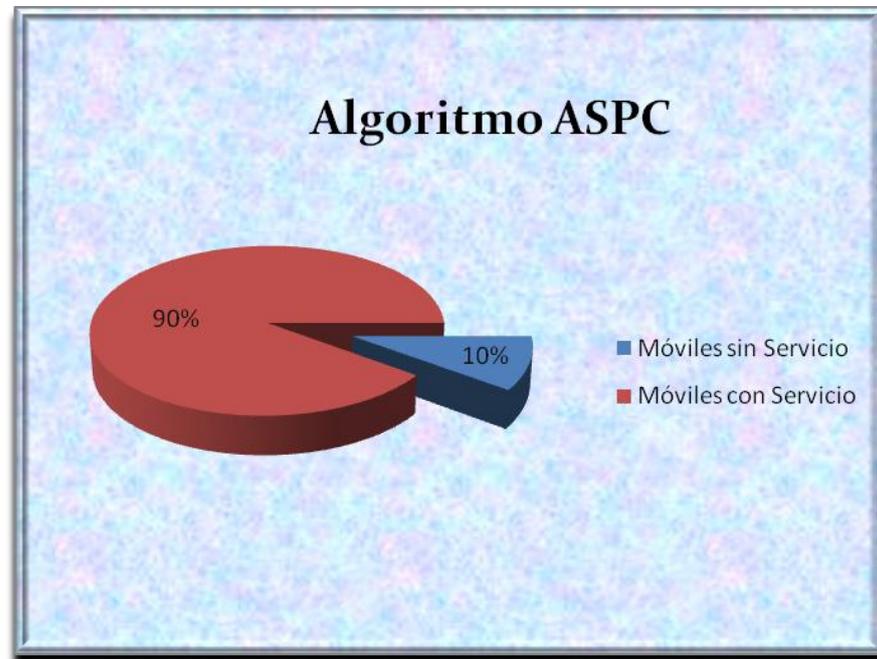


Figura 5.13 Gráfico estadístico de las simulaciones del algoritmo ASPC³⁰

³⁰ Los autores

CONCLUSIONES

1. Las simulaciones realizadas en el capítulo 5 nos permiten observar el comportamiento de dos algoritmos usados para el control de potencia como estrategias de administración de los recursos de radio. Manejando eficientemente la potencia transmitida se pueden evitar fallas en el sistema como por ejemplo la pérdida de servicio de un usuario en particular. Quedó claramente establecido que el algoritmo ASPC fue el que dio mejores resultados de los dos algoritmos simulados ya que nos ofrecía una menor probabilidad de corte que el algoritmo MSPC.
2. Los algoritmos fueron sometidos a tres diferentes escenarios donde variaba la cantidad de móviles en la celda. El número de usuarios planteado fue de 50, 100 y hasta 200 móviles. Cuando la celda tiene 50 móviles se puede identificar que las curvas siguen un cierto patrón especialmente en el caso del algoritmo ASPC. Este patrón es más visible cuando aumentamos el número de usuarios a 200, donde se puede observar como las curvas tienden a estabilizarse en un valor predeterminado.

3. El dinamismo de la red nos exige el uso de métodos de administración ya que la variación constante y aleatoria de la misma causa su mal desempeño, por dichas variaciones ocurren situaciones como sobrecarga de la red y esto afecta al usuario.

4. Las funciones de RRM deben trabajar directamente con los parámetros que influyen la interfaz de radio y estos parámetros están íntimamente relacionados con la cantidad de usuarios activos, cantidad que varía de acuerdo al área geográfica en la cual se ubica la red, por lo que se deben de realizar estudios constantes de la cantidad de usuarios que habrá en dicha zona y así ver cual será la mejor solución para la satisfacción del cliente. Estas soluciones pueden ser tanto un cambio en los algoritmos o cambios físicos como por ejemplo el aumento de celdas.

5. Las decisiones de RRM se harán tomando en cuenta la eficiencia de la red y la conveniencia del operador. Las funciones RRM necesariamente tienen que trabajar en conjunto para lograr que los enlaces en la red satisfagan los requisitos de la calidad de servicio, por más que el control de admisión haga una excelente labor no se pueden prevenir momentos en los cuales se sobrecargue la red y se necesite

del control de congestión el cual a su vez tendrá el apoyo del handover para despejar el tráfico en la red.

6. Es importante manipular los niveles de potencia tanto en el uplink como para el downlink, esperando siempre utilizar la mínima potencia requerida para transmitir la señal. De esta manera se logra evitar la interferencia causada por los equipos terminales al momento de querer conectarse a un nodo base.

7. Finalmente podemos concluir que todas las estrategias para administrar los recursos de radio mencionadas en el presente trabajo constituyen un pilar fundamental en el sostenimiento de las redes UMTS ya que el desarrollo de nuevas aplicaciones y nuevos servicios para la telefonía celular exige un manejo eficiente de los recursos del sistema para aprovechar al máximo las ventajas de la comunicación inalámbrica.

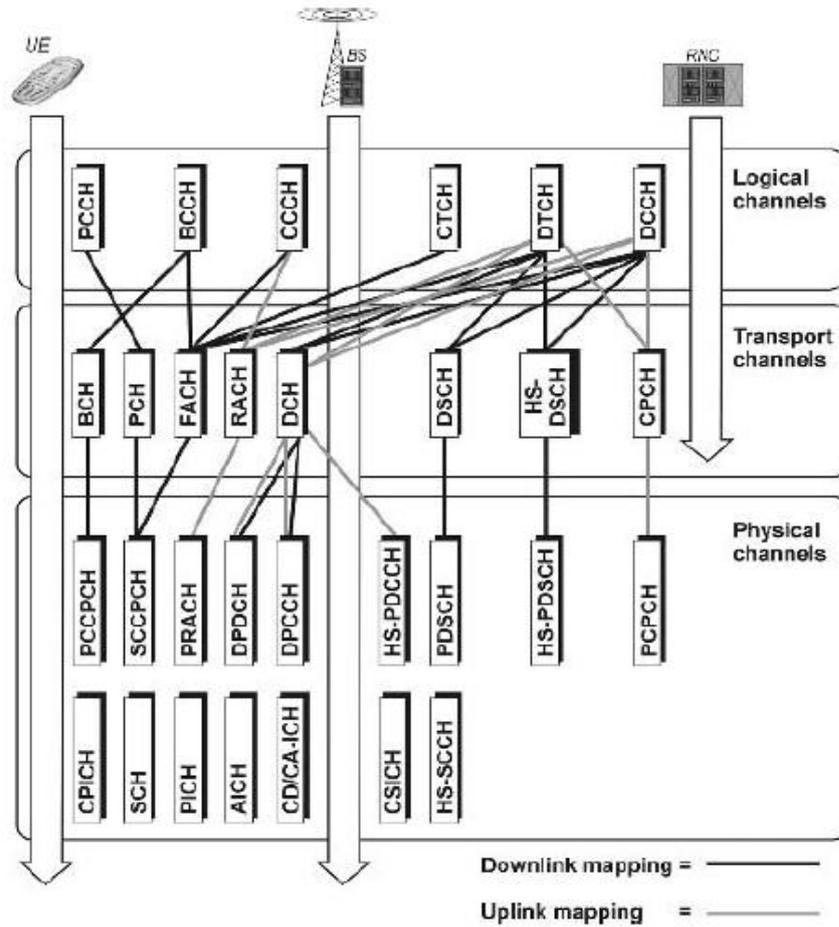
RECOMENDACIONES

1. Los parámetros que se utilizan para decidir si el sistema ha llegado a una etapa de congestión deberían ser cuidadosamente escogidos ya que de lo contrario se podrían dar dos escenarios. El primero que se hayan fijado en un nivel muy bajo lo cual ocasionaría que los algoritmos utilizados para controlar la congestión se activen con mucha frecuencia restando así la calidad de conexión a otros usuarios para tratar de estabilizar el sistema cuando este no lo necesita. El segundo caso es que se hayan fijado en un nivel muy alto lo que podría ocasionar que el sistema no detecte los niveles de congestión a tiempo y termine colapsando.
2. Es necesario hacer un continuo estudio del tráfico de datos en las celdas existentes en las redes UMTS para de esta manera tener una idea clara de cómo distribuir los recursos de radio y así garantizar la satisfacción de los clientes.
3. En la práctica la simulación de algoritmos RRM para redes UMTS debería realizarse usando simuladores especializados en el tema debido a que la simulación de algoritmos RRM en MatLab tiene algunas restricciones ya que es necesario asumir algunos parámetros

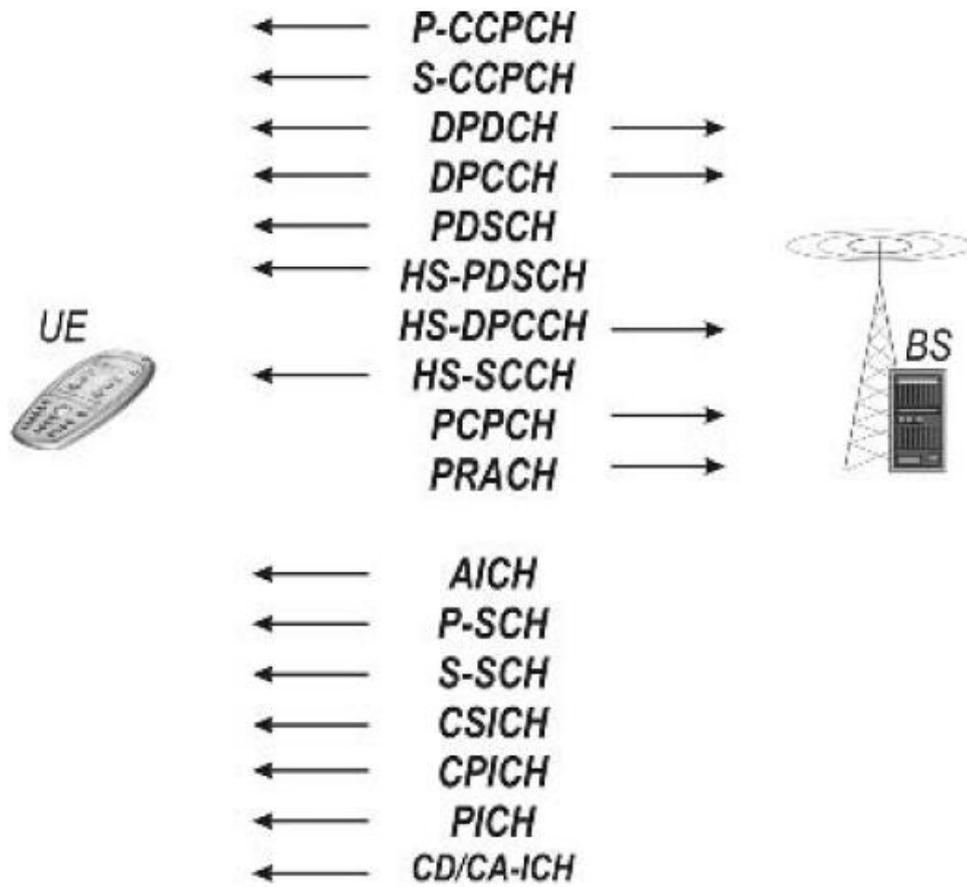
para obtener condiciones ideales para la simulación. Uno de estos proveedores de software tiene como nombre Opnet el cual en casos especiales otorga licencias gratis a Universidades ya que generalmente sus licencias son de tipo comercial para grandes empresas. Añadir esta herramienta en los laboratorios de la facultad podría servir para que futuras generaciones puedan explorar más este tema.

Anexo A

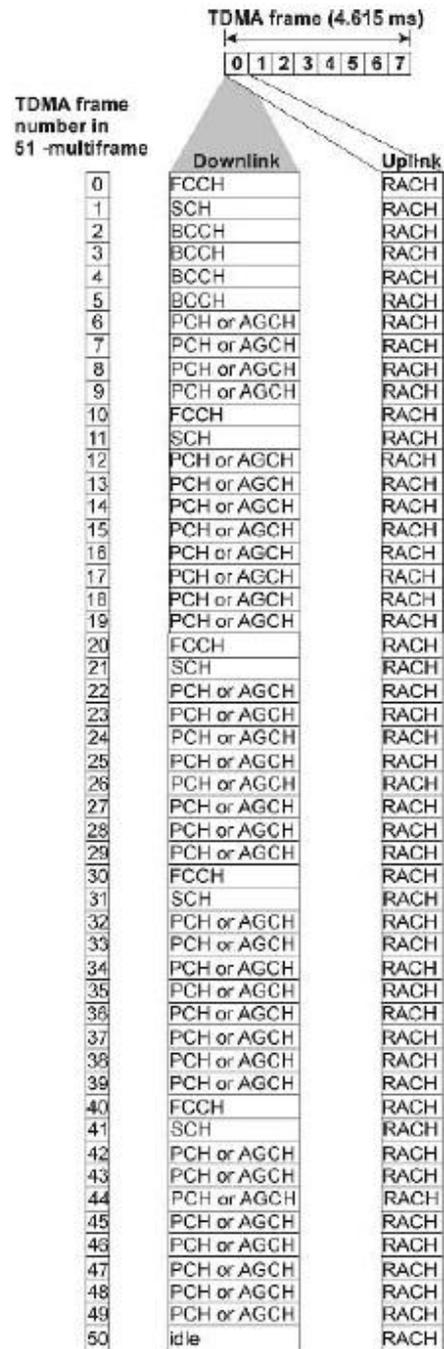
Tipos de Canales y su ubicación según los elementos de la red



Canales Físicos



Canales lógicos



Anexo B

Programación en Matlab para simular el algoritmo MSPC

```

%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Multiple Step Power Control (MSPC) %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear all;
clc;
delta_P = 3;
dmin = 200;
R = 1000;
k = 3;
n=4;
SIR_threshold= -14;
moviles= 200;
counter= 0;

    distancia_1= unidrnd (R,1,moviles);

    for j = 1:moviles;
        if distancia_1 <= dmin;

            potencia_1 (j) = k* (dmin/R)^n;
        else
            potencia_1 (j) = k* (distancia_1 (j)/R)^n ;
        end
        SIR_observado_1 (j) = (10*log10 (potencia_1 (j)));

        if (SIR_observado_1 (j) < SIR_threshold)
            counter = counter + 1;

            SIR_incremento (j) = SIR_observado_1 (j)+ delta_P;
        else

            SIR_decremento (j) = SIR_observado_1 (j) - delta_P;
        end
        counters(j)= counter;
    end
end

```

```
mov= 1:1:200;
outage_percentage_1 = ((counters ./mov)*100);

plot(1:moviles,outage_percentage_1,'-b','linewidth',2), hold on
axis([10 moviles 1 70]), grid on
title('Porcentaje de Pérdida de Servicio vs Número de móviles -
Algoritmo Multi-Step SIR Power Control')
xlabel('Número de Móviles')
ylabel('Porcentaje de Móviles sin servicio')
```

Programación en Matlab para simular el algoritmo ASPC

```

%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Adaptive Step SIR{based Power Control (ASPC) %%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear all;
clc;
dmin = 200;
R = 1000;
k = 3;
n=4;
moviles=200;
SIR_ant=0;
SIR_threshold= -14;

u_increment= 10;
v_decrement= 0.2;
flag=0;
outage_counter2=zeros(1,moviles);
outage_percentage_1=zeros(1,moviles);
potencia_2= zeros(1,moviles);
fz=ones(1,moviles)*0.05;

distancia_2 = unidrnd (R,1,moviles);

for j = 1:moviles;
    if distancia_2(j) <= dmin;

        potencia_2(j) = k* (dmin/R)^n;
    else
        potencia_2(j) = k* (distancia_2 (j)/R)^n ;
    end

    SIR_observado_2 (j) = (10*log10 (potencia_2 (j)));
end

for i = 1:moviles;

    for j = 1:moviles;
        SIR_ant=SIR_observado_2(j);

```

```

        if (SIR_observado_2 (j) <= SIR_threshold)
            outage_counter2(i)= outage_counter2(i)+1;
            if (flag==1)
                SIR_observado_2 (j) = SIR_observado_2 (j)+
u_increment*fz(j);
            else
                SIR_observado_2 (j) = SIR_observado_2 (j)+ fz(j);
            end
            fz(j)= fz(j)+0.01*j;
        else
            if (flag==0)
                SIR_observado_2 (j) = SIR_observado_2 (j) -
v_decrement*fz(j);
            else
                SIR_observado_2 (j) = SIR_observado_2 (j) - fz(j);
            end
        end

        if (SIR_ant < SIR_threshold)
            flag=1;
        else
            flag=0;
        end
    end

end

outage_percentage_2 = ((outage_counter2 /moviles)*100);

plot(1:moviles,outage_percentage_2,'--r','linewidth',2)
axis([1 moviles 1 70]), grid on
h = legend('MSPC', 'ASPC',2);
set(h,'Interpreter','none')
title('MSPC vs. ASPC')
xlabel('Número de Móviles')
ylabel('Porcentaje de Móviles sin servicio')

```

REFERENCIAS

- [1] Revistasic – “Análisis en torno a la arquitectura global de seguridad en UMTS” – http://www.revistasic.com/revista43/agorarevista_43.htm – 2009
- [2] J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, M. Díaz-Guerra – “Radio Resource Management Strategies in UMTS” - Editorial John Wiley and Sons Ltd. - 2005
- [3] Catarina – “Descripción del sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS) y WCDMA” http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/mayoral_p_e/capitulo3.pdf - 2009
- [4] Wikipedia – “Espectro Ensanchado” - http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_ensanchado - 2009
- [5] Wikipedia – “Wideband Code Division Multiple Access” - http://es.wikipedia.org/wiki/Wideband_Code_Division_Multiple_Access - 2009

- [6] 3GPP - TR 25.922 v7.1.0 - "Radio Resource Management Strategies" – http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.922/ - 2007
- [7] Wikipedia – "Bit Error Ratio" - http://en.wikipedia.org/wiki/Bit_error_ratio - 2009
- [8] J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, G. Parés – " A Downlink Admission Control Algorithm for UTRA FDD" - <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.106.1573&rep=rep1&type=pdf> - 2009
- [9] X. Gelabert, J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí – "Congestion Control Strategies in Multi-Access Networks" - http://s3.amazonaws.com/publicationslist.org/data/xavier.gelabert/ref-6/ISWCS06_congestion_control.pdf - 2009
- [10] R. Jain – "Congestion Control in Computer Networks: Issues and Trends" - <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.122.4570&rep=rep1&type=pdf> - 2009
- [11] Wikipedia – Handover - <http://es.wikipedia.org/wiki/Handover> - 2009

- [12] Wikipedia – Tipos de Handover -
http://es.wikipedia.org/wiki/Handover#Tipos_de_Handover - 2009
- [13] 3GPP TS 23.009 v8.2.0 – “Handover Procedures” –
http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/23_series/23.009/ - 2009
- [14] J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, - “ UMTS Radio Interface Management: A downlink case study” -
<http://www.tsc.upc.edu/grcmpublications/proceedings/2003/UMTSRadioInterface.pdf> - 2009
- [15] J. Sánchez González, J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí - “An Admission Control Algorithm for WCDMA Considering Mobile Speed and Service Characteristics” - <http://www.everest-ist.upc.es/publicdocuments/conferences/c11.pdf> - 2009
- [16] Soumya Das, Sachin Ganu, Natalia Rivera, Ritabrata Roy -
“Performance Analysis of Downlink Power Control in CDMA Systems” -
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.115.3021&rep=rep1&type=pdf> - 2009
- [17] Wikipedia – MATLAB - <http://es.wikipedia.org/wiki/MATLAB> - 2009

- [18] Mathworks – M-file Editor -
[http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/techdoc/matlab_env/
brqxeeu-131.html](http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/techdoc/matlab_env/brqxeeu-131.html) - 2009
- [19] Chung-Ju Chang, Fang-Ching Ren – “Downlink Power Control in
DS/CDMA Cellular Mobile Radio Network” -
[http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.115.3021&re
p=rep1&type=pdf](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.115.3021&rep=rep1&type=pdf) - 2009
- [20] UMTSworld – UMTS Power Control -
<http://www.umtsworld.com/technology/power.htm> - 2009