

# Factores que afectan la capacidad en WCDMA y su influencia en la planificación de sistemas de tercera generación

Andres Navarro  
Universidad ICESI, Colombia  
anavarro@icesi.edu.co

**Abstract:** In this paper we use a model that we have developed for CDMA capacity analysis to see how different conditions like propagation model, number of cells and overlapping affect the estimation of CDMA capacity. We will show that the overlapping is not a direct parameter that affect capacity, and there are other factors to consider.

**Keywords:** CDMA, WCDMA, 3G, Third Generation, Mobile Radio, Capacity.

## I. INTRODUCCION

Cuando se habla de sistemas tipo CDMA, y en particular de los sistemas WCDMA que se emplean en la tercera generación de sistemas móviles celulares, se asumen varias diferencias con relación a los sistemas TDMA, que deben facilitar la planificación de dichos sistemas. Por ende, uno de los mayores argumentos para el actual desarrollo de los sistemas basados en CDMA ha sido su facilidad de planificación por el factor de reuso de frecuencias igual a 1.

Cuando se planifica un sistema basado en TDMA el principal factor a tener en cuenta es la cobertura de la zona de servicio, y el tamaño del cluster; una vez se define esto, la planificación no tiene mayores inconvenientes y la capacidad es fija, dependiendo del número de canales disponibles. Para los sistemas basados en CDMA, existen otros factores que afectan la capacidad y que no habían sido estudiados muy a fondo hasta ahora. Sin embargo, a medida que se han ido desarrollando las normas para la tercera generación se han ido revisando algunos aspectos que de alguna manera afectan la capacidad de los sistemas basados en CDMA ó WCDMA, que van a modificar la forma como se planifican los sistemas en la tercera generación.

En este artículo se analizarán algunos aspectos que afectan la capacidad de los sistemas WCDMA de la tercera generación y cómo éstos aspectos va a afectar el proceso de planificación en la tercera generación. El siguiente apartado tratará algunos antecedentes sobre capacidad en CDMA, el apartado 3 tratará los aspectos que afectan la capacidad y algunos casos de

análisis, y el apartado 4 mostrará algunas conclusiones.

## II. ANTECEDENTES SOBRE CAPACIDAD EN CDMA

La referencia obligada cuando se habla de capacidad en sistemas CDMA es el artículo de Gilhousen, Viterbi et al. [GIL91], donde se deducen las ecuaciones de capacidad para sistemas CDMA en forma analítica. Aunque se han desarrollado trabajos posteriores, las variaciones no son demasiado grandes respecto a este trabajo.

Primero que todo, hay que decir que los sistemas CDMA son limitados por la interferencia de los usuarios que tienen llamadas activas en el sistema, ya que todos comparten la misma frecuencia de operación. Esto trae como consecuencia el llamado problema del Near-Far o el problema de *Múltiple Access Interference* (MAI), que obliga a hacer un control de potencia sobre los terminales móviles para maximizar la capacidad y evitar que los móviles que se encuentran cerca de la estación base interfieran demasiado y castiguen la capacidad. A continuación haremos un breve resumen de estos resultados.

### A. CAPACIDAD DE UNA SOLA CELDA

Si se asume un celda aislada con control de potencia perfecto (es decir, que a la estación base llega el mismo nivel de señal no importa donde esté el usuario), y el mismo tipo de servicio (en tercera generación puede haber varios servicios simultáneamente), la capacidad de un sistema CDMA está dada en términos de la ganancia de ensanche, la interferencia y la relación Eb/No requerida para el funcionamiento adecuado del sistema. Si llamamos N al número de usuarios con llamadas activas, S a la densidad espectral de potencia recibida en la estación base por cada usuario, entonces la relación energía de bit sobre interferencia (o relación Eb/No) está dada por:

$$\left( \frac{E_b}{N_0} \right) = \frac{S \cdot SG}{I + N_0} = \frac{S \cdot SG}{(N-1) \cdot S + N_0} \quad (\text{Eq. 1})$$

Donde  $N_0$  es la densidad espectral de ruido,  $I$  es la interferencia,  $SG$  es la ganancia de ensanche. En el límite, cuando  $N$  alcanza la máxima cantidad de usuarios posibles,  $E_b/N_0$  es el mínimo requerido para que el sistema funcione (es decir que la tasa de errores esté por encima de un valor aceptable), la interferencia es lo suficientemente grande para despreciar  $N_0$ , por lo que la ecuación queda:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{req} = \frac{S \cdot SG}{(N_{max} - 1) \cdot S + N_0} \approx \frac{S \cdot SG}{(N_{max} - 1) \cdot S} = \frac{SG}{N_{max} - 1}$$

**Eq. 2**

$$N_{max} \approx 1 + \frac{SG}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{req}}$$

**Eq. 3**

Donde  $N_{max}$  es el máximo número de usuarios atendidos por la celda. Si el servicio suministrado por la celda es un servicio de voz, la interferencia se ve modificada por el factor de actividad de voz, mejorando la capacidad. El factor de actividad de voz  $\alpha$  está definido entre cero y uno ( $0 < \alpha \leq 1$ ), y las ecuaciones anteriores se replantean como:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{req} = \frac{S \cdot SG}{\alpha \cdot (N_{max} - 1) \cdot S + N_0} \approx \frac{S \cdot SG}{\alpha \cdot (N_{max} - 1) \cdot S} = \frac{SG}{\alpha \cdot (N_{max} - 1)}$$

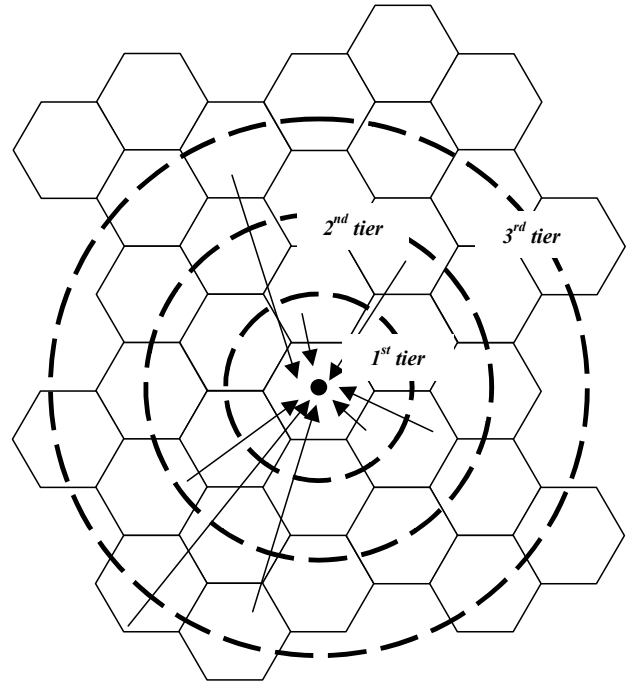
**Eq. 4**

$$N_{max} \approx 1 + \frac{SG}{\alpha \cdot \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{req}}$$

**Eq. 5**

## B. CAPACIDAD CON MULTIPLES CELDAS.

Cuando se analiza un sistema con varias celdas, hay que tener en cuenta también la interferencia producida por los usuarios activos en las otras celdas del sistema. En el modelo teórico se asume un sistema celular con celdas hexagonales, como se muestra en la siguiente figura,



**Figura 1 Modelado de la Interferencia Inter-celda**

Al considerar la interferencia intercelda, la ecuación para calcular la relación  $E_b/N_0$  queda así.

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \frac{S \cdot SG}{I_{inter} + I_{intra} + N_0}$$

**Eq. 6**

Como la interferencia intercelda proviene de otras celdas en el sistema, si se asume que hay  $N_c$  celdas en el sistema, la interferencia intercelda está dada por:

$$I_{inter} = \sum_{i=1}^{N_c-1} I_i(D_i, \gamma)$$

**Eq. 7**

Donde  $D_i$  es la distancia entre las estaciones base interferentes y la estación base interferida y  $\gamma$  es el exponente de pérdidas que se asume para el análisis. Sin embargo, a este factor de pérdidas se le debe agregar el desvanecimiento log-normal, por lo que la interferencia queda dada, según [GIL91] por:

$$I_{ij} = \frac{S_i \cdot r_j^\gamma \cdot 10^{\xi_i/10}}{R_{ij}^\gamma \cdot 10^{\xi_0/10}}$$

**Eq. 8**

Donde  $S_i$  es la densidad espectral de potencia de cualquier usuario en la celda  $i$ , las distancias  $R_{ij}$  y  $r_j$  están definidas en la siguiente figura y  $\xi_i$  es una variable aleatoria gaussiana que modela el efecto del desvanecimiento log-normal en la

celda  $j$ . Si se asume que todas las celdas del sistema son iguales, entonces  $S_i = S \forall i = 1, \dots, N_c$  y  $S$  es la misma que en la eq 6. Además, si se asume que los usuarios están distribuidos uniformemente sobre el sistema, se obtiene la ecuación:

$$dI_i = S \cdot \frac{r^\gamma \cdot 10^{\xi_i/10}}{R^\gamma \cdot 10^{\xi_0/10}} \cdot \rho \cdot dA \quad \text{Eq. 9}$$

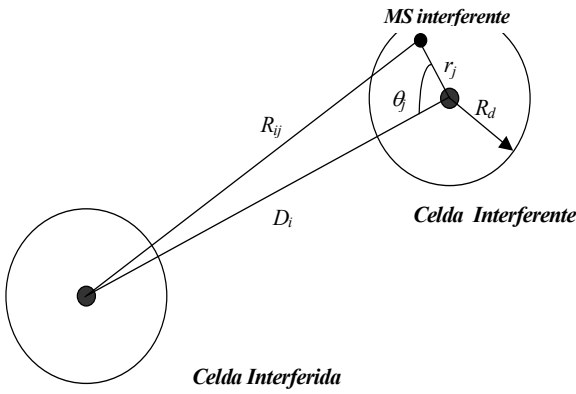


Figura 2 Cálculo de interferencia en el uplink

Donde  $\rho$  es la densidad espacial de usuarios, que es proporcional al número de usuarios en una celda,  $N$ . Según esto, la interferencia total estará dada por:

$$I_i = \iint_A dI_i = \iint_A S \cdot \frac{r^\gamma \cdot 10^{\xi_i/10}}{R^\gamma \cdot 10^{\xi_0/10}} \cdot \Phi \left( \frac{r^\gamma \cdot 10^{\xi_i/10}}{R^\gamma \cdot 10^{\xi_0/10}} \right) \rho \cdot dA \quad \text{Eq. 10}$$

donde  $\Phi(x) = 1$  si  $x < 1$  y  $\Phi(x) = 0$  de otra forma. Como la integral se debe evaluar sobre toda el área de servicio y no es posible establecer a priori sus límites, debido a la aleatoriedad de las fronteras de la celda, la función  $\Phi(x)$  intenta eliminar de la integral los puntos atendidos por la celda interferida. Ya que  $I_i$  es proporcional a  $S$  y  $\rho$  es proporcional a  $N$ , se puede escribir:

$$I_i \propto S \cdot N = I'_{int ra} \Rightarrow I_i = F_m \cdot I'_{int ra} \quad \text{Eq. 11}$$

donde:

$$F_m = \iint_A \frac{r^\gamma \cdot 10^{\xi_i/10}}{R^\gamma \cdot 10^{\xi_0/10}} \cdot \Phi \left( \frac{r^\gamma \cdot 10^{\xi_i/10}}{R^\gamma \cdot 10^{\xi_0/10}} \right) \frac{\rho}{N} \cdot dA \quad \text{Eq. 12}$$

Es decir, la interferencia intercelda se puede expresar en términos de la interferencia intracelda multiplicada por un factor de corrección  $F_m$ . El valor de este factor depende de el exponente de pérdidas y de la desviación estándar del desvanecimiento log-normal. Ya que las fronteras del sistema no se conocen a priori, no existe una solución analítica para esta integral y se requiere una solución numérica.

Al incluir el factor  $F_m$  en el cálculo de capacidad para un sistema CDMA, las ecuaciones de  $E_b/N_0$  y capacidad quedan:

$$\left( \frac{E_b}{N_0} \right) = \frac{S \cdot SG}{F_m \cdot I'_{int ra} + I'_{int ra} - S + N_0} = \frac{S \cdot SG}{(F_m + 1) \cdot N \cdot S - S + N_0} \quad \text{Eq. 13}$$

$$N_{max} \approx \frac{1}{(1 + F_m)} + \frac{SG}{(1 + F_m) \cdot \left( \frac{E_b}{N_0} \right)_{req}} \quad \text{Eq. 14}$$

### III. MODELO DE SIMULACIÓN PARA ANÁLISIS DE CAPACIDAD.

#### A. Modelo general.

El modelo del sistema, contiene los diferentes elementos de un sistema TDMA y de un sistema CDMA. Básicamente consta de un módulo de coberturas, que es tomado de DC-Cell; un módulo de canales, donde se modela el tipo de asignación de canal en TDMA y la generación de códigos en CDMA; un módulo que calcula los traslapes entre celdas del sistema; un generador de usuarios y llamadas, que responde a una distribución específica (en principio se utiliza la normal); un módulo que calcula el bloqueo del sistema, para el TDMA y para el CDMA, aunque en CDMA se hace una aproximación al bloqueo a partir de conceptos existentes en la literatura, debido a la característica de *softblocking*; un módulo que incluye movilidad de usuarios y procesos de handover y un módulo que calcula el C/I para diferentes estados del sistema; Se calcula el estado del sistema en diferentes instantes de tiempo, o sea que se habla de una simulación del tipo time - slicing. El lapso de tiempo entre

cálculos, será de un time-slot cuando se trabaje con saltos de frecuencia, y mayor cuando no se empleen saltos de frecuencia. La alternativa de emplear simulación por eventos es factible, es cuestión de analizar si se analiza el sistema cada que se genera una llamada, o se revisa el número de llamadas existentes en un lapso de tiempo y se tratan como si fueran generadas en el mismo instante. La figura muestra esquemáticamente el modelo.

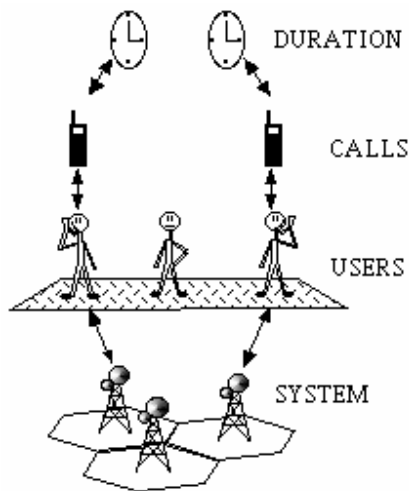


Figura 3 Modelo del sistema

#### B. Matrices de cobertura y usuarios, bloqueo del sistema

El modelo toma, en primera instancia, la matriz de *Best Server* que entrega DC-Cell, para obtener el área de cobertura del sistema. Sobre esta matriz, se genera un número aleatorio de usuarios, cualquiera de los cuales está en capacidad de cargar el sistema. Se asume, en primera instancia, que los usuarios no abandonarán la zona de cobertura, por lo cual no se generarán procesos de *handover* en el sistema.

Con cada una de las zonas de cobertura, se calcula el bloqueo, a partir de las llamadas generadas y de las liberadas. Se lleva una serie temporal de los datos de bloqueo, para analizar como evoluciona el sistema. Con los bloqueos de cada celda, se calcula el bloqueo del sistema, en condiciones "normales".

En cada instante de tiempo de la simulación se genera un número de llamadas y un número de llamadas liberadas, siguiendo la distribución que se escoja. La simulación calcula en instantes sucesivos el comportamiento del sistema y calcula el Grado de Servicio (GOS) y el bloqueo de éste.

Para obtener los demás parámetros requeridos por el sistema, se cargan las coberturas, acomodándolas a una matriz del mismo tamaño del sistema, de tal forma que todas las operaciones que se ejecuten en MatLab tengan la misma referencia. Con las matrices de cobertura en el modelo, se puede calcular traslape entre celdas, Nivel de señal en diferentes puntos del sistema, relación C/I, En/No y factor Fm en el caso de CDMA, y otros factores que se consideren pertinentes.

#### C. Interferencias

Para cada instante de cálculo del sistema, se verifica que canales de RF están activos, con el fin de saber que celdas pueden generar interferencias co-canal, se calcula el nivel de C/I y se verifica qué usuarios se encuentran en una zona donde el C/I no es aceptable. Dichos usuarios, transcurrido un tiempo, perderán la conexión y se considerará llamada perdida; esta llamada se agrega al cálculo del GOS. Se asumirán diferentes tamaños de "cluster", y a partir de esta información, se identificarán en el sistema las celdas co-canal, haciendo la asignación de canales manualmente. Por otra parte, se utiliza el algoritmo de asignación de canales de DC-Cell. DC-Cell se basa en la identificación de vecinos y la generación de una tabla de vecinos a partir de la cual asigna los canales.

Se espera que en el sistema haya un número importante de llamadas bloqueadas o perdidas por interferencia, sin embargo, algunos estudios muestran que el porcentaje es despreciable.

Para el caso de CDMA, se modelan las interferencias en forma diferente, ya que la interferencia co-canal la generan los mismos usuarios dentro del sistema.

El modelo empleado para CDMA, consiste en calcular las pérdidas de señal que tiene cada usuario del sistema, a partir de las matrices de cobertura, ya que se conoce la señal recibida (A partir de la cobertura) y la potencia de transmisión (En el DC-Cell). Conociendo las pérdidas de cada usuario, se estima la potencia con que transmite cada usuario según la celda donde está ubicado y asumiendo control de potencia perfecto. Con esta información se puede calcular la interferencia de todos los usuarios sobre cada EB del sistema, sumando la contribución de cada uno sobre la EB, según la potencia de transmisión y las pérdidas para esa cobertura. Una vez obtenido el nivel de interferencia para cada EB, se puede calcular fácilmente la relación Señal - Interferencia y el bloqueo del sistema, entendiendo como bloqueo una situación donde la calidad de la señal no es aceptable para el usuario, la cual se puede obtener de la norma IS-95 o UMTS o CDMA-2000, o considerando un BER similar al de los sistemas TDMA.

## D. Canales

Por canales, nos referimos principalmente al espacio que se le asigna a un usuario para atender una llamada. En TDMA, por lo tanto, nos referimos a la combinación de frecuencias y *slots* temporales. Se tienen en cuenta las frecuencias con el fin de estimar la interferencia en las celdas del sistema, y hacer la planificación mas adecuada.

En CDMA, se asume que hay un numero de “canales” limitado por el numero de códigos disponibles. Este numero teórico de canales está limitado por la interferencia entre los usuarios y por el problema del “*near-far*”. Con este supuesto, se puede analizar el CDMA con modelos muy similares al TDMA, en cuanto a llegada de llamadas, duración de éstas, numero de servidores en la cola, etc.

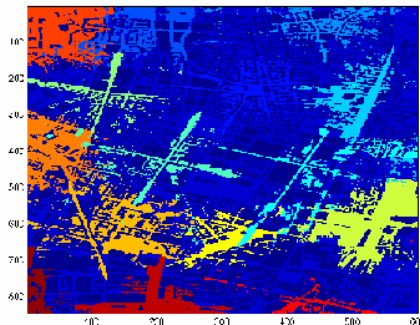
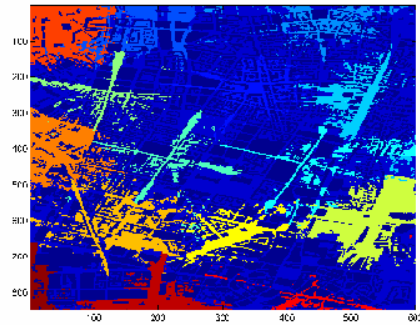
## E. Movilidad de usuarios

El siguiente paso del modelo consiste en estimar el numero de usuarios que abandonan la zona de cobertura de una celda y generan procesos de Handover, de tal forma que el sistema tenga que asignarle un nuevo canal. Para esta etapa, se genera una matriz de movilidad, y se cuenta el numero de usuarios que abandona la cobertura, y hacia que cobertura se cambian, con el fin de estimar la probabilidad de bloqueo del sistema con los procesos de handover generados.

Se estima también, el número de llamadas perdidas por el hecho de que un usuario se mueva hacia una zona donde la cobertura no es buena, o la interferencia obliga a cortar la llamada.

## F. Cell Breathing

Un aspecto relativamente reciente que ha aparecido con los sistemas de tercera generación es el efecto de “respiración” de las celdas, que se produce al aumentar la interferencia del sistema. El modelo permite ver en forma dinámica este efecto, y cómo afecta el sistema. El efecto de respiración se muestra de dos formas, una es por las potencias de transmisión de los usuarios, y la otra es con la modificación dinámica del mapa de mejor enlace. Las figuras que se muestran a continuación muestran el efecto de respiración en un sistema con una alta carga de tráfico.



## IV. ALGUNOS ASPECTOS QUE AFECTAN LA CAPACIDAD

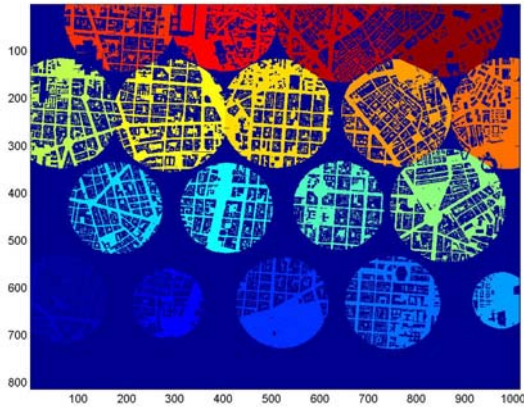
Con el modelo descrito en el apartado anterior, y los conceptos teóricos existentes, se pueden identificar varios factores que va a afectar la capacidad en sistemas CDMA, y por ende afectarán la forma como se hace planificación en estos sistemas. Los factores a evaluar son:

### A. MODELO DE PROPAGACIÓN.

Como es bien sabido, hay diferentes tipos de modelo de propagación. Los hay estadísticos, deterministas y semi-deterministas. A la hora de realizar un planificación, los modelos estadísticos no tienen en cuenta la topología del terreno y por ende se comportan igual bajo cualquier condición de terreno y asumen coberturas circulares, por lo que estaríamos en una situación casi ideal. Este es el caso de modelos como el de Hata.

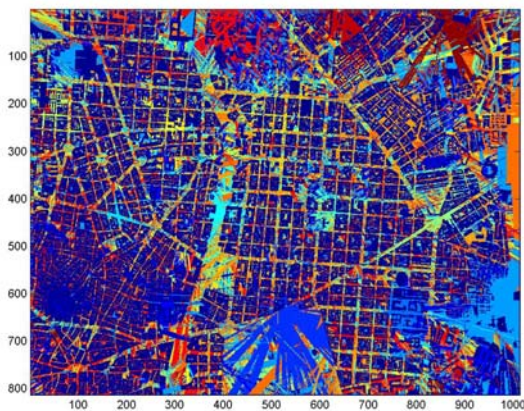
Los modelos semi-deterministas tienen en cuenta la topología del terreno y por lo tanto sus resultados pueden variar mucho cuando varían las condiciones del terreno. Esta situación va a afectar el cálculo de capacidad y por lo tanto la planificación de diversas formas. Un ejemplo extremo lo mostramos para un sistema calculado para la ciudad de Madrid, donde se tienen dos sistemas con 18 celdas omnidireccionales, con 21 dBm de PIRE para cada celda y

las mismas alturas de transmisor para cada caso. Uno de los casos se modeló con Hata y el otro con una variante de Walfisch-Bertoni. El sistema calculado con Hata es el que se muestra en la figura.



**Figura 4 Sistema Madrid calculado con Hata**

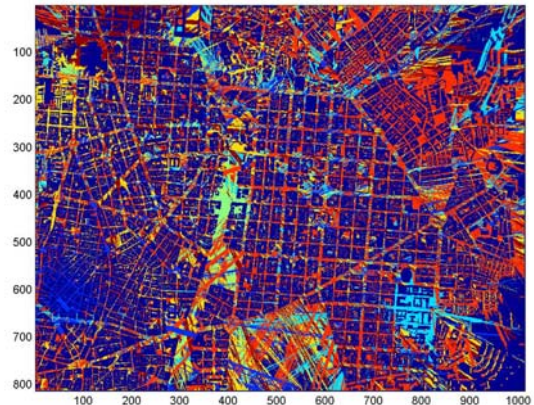
El sistema calculado con la variante de Walfisch, se muestra a continuación.



**Figura 5 Sistema Madrid calculado con Univalencia**

Se aprecia a primera vista la diferencia entre los dos sistemas, por la irregularidad de las coberturas. El primer problema que se encuentra es en la relación de vecindad entre coberturas, ya que para el sistema calculado con el modelo Valencia la vecindad es total, es decir todas las celdas son vecinas de todas, lo que afecta negativamente la capacidad del sistema.

La siguiente figura, muestra el sistema calculado con el modelo Valencia, pero usando tan solo seis coberturas.



**Figura 6 Sistema Madrid con seis coberturas**

Se aprecian tres cosas, una el sistema sigue siendo muy irregular, dos el área cubierta es menos que con dieciocho celdas y tres de todas formas el área cubierta es mayor que con el modelo Hata.

## B. SECTORIZACION

Se sabe bien que la sectorización permite reducir la interferencia de los usuarios que se encuentran detrás de la celda interferida, por lo que puede obtener una mejora de capacidad al sectorizar. Lo que no está perfectamente claro es cuánto se mejora la capacidad cuando se utiliza sectorización y si aumentar el número de sectores aumenta linealmente la capacidad.

Sobre esto hay varios argumentos, que están asociados no solamente con la capacidad, sino con la posibilidad de emplear menos estaciones base y por lo tanto reducir los costos de la obra civil. La influencia de este factor se está estudiando actualmente a través de simulaciones con el modelo descrito.

## C. TRASLAPE ENTRE CELDAS

El traslape se puede analizar de varias formas, una de ellas es simplemente analizar que tanto grado de traslape hay entre dos o más celdas, y otra es analizar el traslape desde el punto de vista de la topología del sistema, por lo que este está ligado al modelo de propagación, al *active set* y al margen de handover.

Al considerar el traslape desde el concepto de vecindad, no se encuentra una relación directa entre el grado de traslape y

la capacidad, contrario a lo que tradicionalmente se espera en un sistema CDMA.

Adicionalmente, hay que considerar que los traslapes varían en forma dinámica cuando se realiza control de potencia y aparece el efecto de respiración (cell breathing).

## V. SOBRE LA PLANIFICACIÓN Y CONCLUSIONES

Por lo expuesto en los apartados anteriores, parece ser que la planificación en sistemas de tercera generación puede no ser tan simple como se esperaba en los inicios de los sistemas CDMA, ya que hay que tener en cuenta factores dinámicos como los traslapes, active set en diferentes condiciones de carga, múltiples servicios, entre otros. Esto nos lleva a la necesidad de contar con herramientas de planificación dinámicas que permitan predecir al menos estadísticamente el comportamiento de un sistema, con el fin de facilitar su planificación y su optimización.

## VI. REFERENCES

[CAR96] CARDONA Marcet, Narcís, JUAN Llácer, Leandro y REIG Pascual, Juan. Sistemas de Radiocomunicación: Planificación mediante sistemas de información geográfica. En: Mundo Electrónico, N°267, mayo de 1.996. pp 47-51

[BEN00] BENDER, Paul, GROB, Matthew, PADOVANI, Roberto, SINDHUSHAYANA, Nagabhushana and VITERBI, Andrew. CDMA/HDR: A Bandwidth-Efficient High-Speed Wireless Data Service for Nomadic Users. IEEE Communications Magazine, Vol.38, No.7, July 2000. pp 70-77

[DAH98] Dahlman, Erik, et. al. UMTS/IMT-2000 Based on wideband CDMA. IEEE Communications Magazine . September 1.998, pp.70-80

[ENG94] Eng, Thomas and Milstein, Laurence B. Comparison of Hybrid FDMA/CDMA Systems in Frequency Selective Rayleigh Fading. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.12, N°5, June 1994, pp 938-951

[EWE97] Ewerbring, : Farjh, J. And Granzow,W. Performance Evaluation of a Wideband Testbed Based on CDMA. Proc. VTC'97, Phoenix, AZ, May 1997.

[GIL91] GILHOUSEN, K., I. Jacobs, R.Padovani, A.Viterbi, L.Weaver, and C. Wheatley, III. On the capacity of a cellular CDMA system, IEEE Trans. On Vehicular Technology, Vol.40, N° 2, May 1991, pp. 303-312

[HAS97] Hass, Zygmunt, Winters, Jack and Johnson, David. Simulation Results of the Capacity of cellular Systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol.46, N°4, November 1997, pp. 805-817.

[JAL94] Jalali, Ahmad and Mermelstein, Paul. Effects of Diversity, Power Control, and Bandwidth on the Capacity of Microcellular CDMA Systems. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.12, N°5, June 1994, pp.952-961

[JUN93] Jung, Peter Baier, Walter and Seil, Andreas. Advantages of CDMA and Spread Spectrum Techniques over FDMA and TDMA in cellular Mobile Radio Applications. IEEE Trans. On Vehicular Technology, Vol. 42 N°3, august 1993. Pp 357-364

[LEW79] LEWIS, T.G. and SMITH, B.J. Computer principles of modeling and simulation Dallas: Houghton Mifflin Company, 1.979. 393 p. ISBN: 0-395-27143-6.

[LEE97] LEE, William C.Y. Mobile Communications Engineering. New York: McGraw-Hill. 1.997

[RAP96] RAPPAPORT, Theodore S. Wireless Communications: Principles and Practice. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall. 1.996 pp 69-133.

[SUN98] Sundelin, M. Granzow, W. And Olofsson, H. A Test System for Evaluation of the W-CDMA technology. Proc. VTC'98, Ottawa, Canada, May 1998

[VIT93] Viterbi, Audrey and Viterbi, Andrew. Elang Capacity of a Power Controlled CDMA System. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol. 11, N°6, august 1993, pp 892-900

[CAR00-1] Cardona, N. and Navarro, A. Capacity Analysis in CDMA Systems Using GIS Based Planning Tools. IEEE International Conference on Third Generation Wireless Communications. San Francisco, June 14-16, 2000

[CAR00-2] Cardona, N. And Navarro, A. W\_CDMA Capacity Analysis using GIS Based Planning Tools and MATLAB Simulation. International Conference on 3G Mobile Communication Technologies, London, March 27-29, 2000

## VII. CV:

Narcís Cardona (M'91): nació en Barcelona, España el 20 de noviembre de 1.963. Se graduó como ingeniero de Telecomunicación en la Universitat Politècnica de Catalunya, en Barcelona, en 1.990 y recibió el título de Doctor Ingeniero de Telecomunicación en la Universidad Politècnica de Valencia en 1.995. Trabaja con el departamento de comunicaciones de la UPV desde octubre de 1.990. Actualmente es profesor titular en el departamento. Su interés en investigación está orientado hacia la caracterización del canal móvil, herramientas de planificación para segunda y tercera generación y DSP aplicados a sistemas de comunicación personal.

Andrés Navarro: nació en Medellín, Colombia. Obtuvo la Maestría en Gestión tecnológica en la Universidad Pontificia Bolivariana y ahora es candidato a Doctor Ingeniero de Telecomunicación en la Universidad Politècnica de Valencia., España. Sus áreas de interés incluyen sistemas de tercera generación, CDMA, sistemas móviles y redes de datos móviles.