

CONTROL DE POTENCIA EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICOS BASADO EN UN JUEGO NO FORMAL

POWER CONTROL IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM BASED ON A NON-FORMAL GAME



AUTOR

VÍCTOR FABIÁN MIRAMA PÉREZ
Ingeniero en Electrónica y
Telecomunicaciones
*Universidad del Cauca
Docente Temporal
Grupo de Nuevas Tecnologías en
Telecomunicaciones GNTT
vmirama@unicauca.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

VÍCTOR MANUEL QUINTERO FLÓREZ
Magister en Ingeniería área Electrónica
y Telecomunicaciones
*Universidad del Cauca
Docente Titular Universidad del Cauca
Coordinador del Grupo de Radio e
Inalámbricas (GRIAL)
Miembro Profesional IEEE
vflorez@unicauca.edu.co
COLOMBIA

INSTITUCIÓN

*UNIVERSIDAD DEL CAUCA
UNICAUCA
Universidad pública
Carrera 2 con Calle 15 Norte
Esquina, sector Tulcán.
Edificio Ingenierías.
Popayán, Cauca
decafiet@unicauca.edu.co
COLOMBIA

INFORMACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN O DEL PROYECTO: resultados presentados hacen parte de la tesis de maestría titulada Control de Potencia Basado en Teoría de Juegos.

RECEPCIÓN: 25 de Junio de 2012

ACEPTACIÓN: 26 de Julio de 2012

TEMÁTICA: Sistemas de comunicaciones inalámbricos y móviles

TIPO DE ARTÍCULO: Artículo de Investigación Científica y Tecnológica.

RESUMEN ANALÍTICO

En los sistemas de comunicaciones inalámbricos, debido a la cantidad limitada de recursos radio como el ancho de banda o la potencia de transmisión, es importante definir procedimientos que permitan utilizarlos de manera eficiente porque de ellos depende el correcto funcionamiento de un sistema. Para el presente artículo es de especial importancia la potencia de transmisión de los dispositivos móviles, ya que esta posibilita que un usuario pueda o no acceder a un servicio o alcanzar una calidad deseada para alguno, de igual manera en sistemas limitados por interferencia es relevante utilizar adecuadamente la potencia ya que esta define aspectos importantes como la capacidad y cobertura de dichos sistemas. Dentro de las alternativas de definición de procedimientos de gestión de recursos, la teoría de juegos cobra importancia por los buenos resultados obtenidos en todas las áreas donde se ha aplicado, por tal motivo este artículo presenta un análisis de la cobertura de un sistema de portadora única, cuando sobre éste se aplica un modelo de control de potencia basado en teoría de juegos, definido mediante una aproximación no formal, estos resultados se comparan con el modelo de control ideal de potencia para evaluar la potencial aplicación de la teoría de juegos en mediante un modelo formal.

PALABRAS CLAVES: Control Ideal de Potencia, Gestión de Recursos Radio, Sistemas Limitados por Interferencia, Teoría de Juegos.

ANALYTICAL SUMMARY

In the wireless communication systems, due to the limited amount of radio resources like bandwidth or the transmission power, is important define procedures that allows use them in a efficient way because of them depends the correct working of a system. For this article is the special importance the transmission power of mobile devices, since this enables that an user can or can't access to a service or reach a desired quality for someone, similarly in limited systems by interference is relevant use adequately the power and this defines important aspects like capacity and coverage of such systems. Among the alternatives of definitions of the resources management procedures, the games theory becomes important by the good results gotten in all areas where have been applied, for this reason this article shows a coverage analysis of a single carrier system, when on this is applied a control power model based in games theory, definite through an non-formal approach, the results are compare with the ideal power control model to evaluate the potential application of the games theory through a formal model.

KEYWORDS: Ideal Power Control, Radio Resource Management, Interference Limited Systems, Game Theory.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas de comunicaciones actuales, existe un reto importante en el uso eficiente de los recursos disponibles, por este motivo la mayoría de sistemas de comunicaciones incluyen dentro de sus procesos de control, la Gestión de Recursos Radio (RRM, *Radio Resource Management*), la cual incluye mecanismos y/o procedimientos encargados de asegurar el uso eficiente del espectro, controlar la admisión de usuarios al sistema, la congestión y la potencia de transmisión, entre otros [1].

Este artículo se enfoca en el control de potencia, dado que el uso eficiente de la potencia disponible, es importante para el correcto funcionamiento de un sistema de comunicaciones inalámbrico, sobretodo si está limitado por interferencia, donde la capacidad y cobertura dependen del nivel de interferencia, como es el caso de los sistemas basados en espectro ensanchado por secuencia directa.

En los sistemas de comunicaciones limitados por interferencia se debe controlar la potencia tanto

del enlace de bajada como del enlace de subida, sin embargo el trabajo desarrollado se enfoca en el enlace de subida, con el ánimo de evitar el efecto cerca-lejos de manera específica y controlar la interferencia de acceso múltiple de manera general, dado que es el escenario donde el uso eficiente de la energía es un factor crítico, porque de esta depende la calidad del servicio alcanzada por el usuario y el desgaste que sufre la batería por el acceso a servicios de altos requerimientos [1]-[3].

El control de potencia es una temática considerada en varias investigaciones a nivel mundial, donde se han definido diferentes propuestas de procedimientos o mecanismos para llevar a cabo dicho control [1], [2]. En la tesis de maestría asociada a este artículo se analiza el uso de la Teoría de Juegos (GT, *Game Theory*) para el control de potencia en sistemas limitados por interferencia de única portadora, dado que son los más vulnerables al uso ineficiente de la potencia de transmisión de los dispositivos móviles.

La Teoría de Juegos, se ha mostrado a lo largo de los años como una herramienta importante para solucionar problemas donde diferentes entidades se encuentren en contienda o en asocio para obtener un beneficio, bajo este concepto el control de potencia se puede modelar mediante Teoría de Juegos, sin embargo para analizar la importancia de su aplicación, se define un juego no formal que permite controlar la potencia sin la inclusión de modelos probabilísticos formales definidos para la Teoría de Juegos [3]-[7].

Para evaluar los resultados del modelo basado en Teoría de Juegos se adaptó un modelo de Control Ideal de Potencia (IPC, *Ideal Power Control*) que sirvió como referencia para el funcionamiento del sistema [8]-[10].

En la sección 1, se describe el escenario de simulación utilizado para el análisis. En la sección 2, se presentan los conceptos básicos asociados al modelo no formal de control de potencia basado en Teoría de Juegos y al Control Ideal de Potencia, para posteriormente presentar en la sección 3 los resultados de simulación, que constituyen el punto de partida para el modelo formal de control de potencia basado en Teoría de Juegos. En la sección 4, se presentan las correspondientes conclusiones.

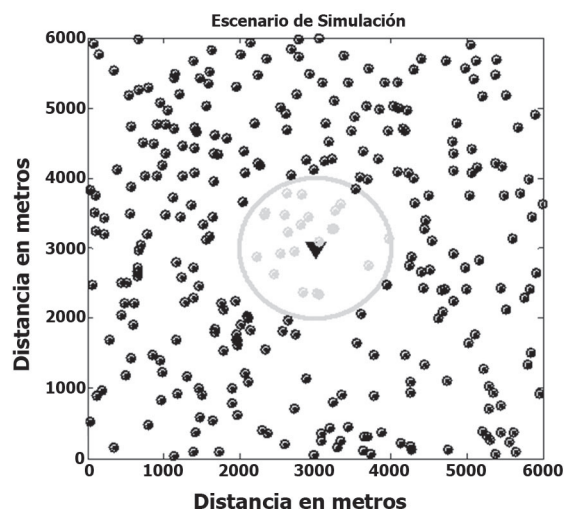
1. ESCENARIO DE SIMULACIÓN

1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Para la implementación del modelo de IPC se definió un escenario de 6 Km × 6 Km, en el cual existe una microcelda que opera en 900 MHz, con un radio inicial de 1Km.

Se incluyeron en el escenario 300 usuarios, uno a uno, cuya posición se determinó por una distribución uniforme, de los cuales se asociaron a la Estación Base (BS, *Base Station*) aquellos que se encontraban dentro de la microcelda, como lo muestra la figura 1, los puntos de color gris representan los usuarios en la zona de cobertura de la BS y los puntos de color negro representan usuarios asociados a otras estaciones base.

FIGURA 1. Escenario de simulación.



El modelo de simulación está conformado por el conjunto $\mathcal{M} = \{1, \dots, M\}$, que representa a los usuarios presentes en el escenario y el conjunto $\mathcal{K} = \{1, \dots, K\}$, que representa los usuarios asociados a la celda de análisis, tal que $\mathcal{K} \subseteq \mathcal{M}$. Se definieron tres casos de análisis en los cuales los dispositivos móviles de usuario podían tomar valores de potencia de transmisión entre -18dBm y 23dBm para alcanzar la SINR objetivo que depende del tipo de servicio y puede ser -20dB y -14dB.

1.2 MODELO DE PROPAGACIÓN

En el enlace de subida del sistema se aplicó un modelo general de propagación, que tiene en cuenta las pérdidas de propagación por trayecto y el desvanecimiento por sombra, el cual se indica en la ecuación 1.

$$P_{ri} = P_i d_i^{-\alpha} x_i \quad (1)$$

Donde P_{ri} corresponde a la potencia recibida por la BS desde el i -ésimo dispositivo, d_i es la distancia a la que se encuentra con relación a la BS, α es el coeficiente de pérdidas de propagación por trayecto y x_i es una variable aleatoria que representa el desvanecimiento por sombra y sigue una distribución Lognormal.

2. MODELOS DE CONTROL DE POTENCIA

2.1 CONTROL IDEAL DE POTENCIA

En el enlace de subida de un sistema limitado por interferencia, los usuarios asociados a una estación base transmiten en la misma frecuencia de portadora, y esto causa que la BS tenga problemas para detectar la señal proveniente de cada uno de los usuarios, debido al elevado nivel de interferencia que causan los usuarios más cercanos a dicha estación. El IPC, busca igualar la potencia de recepción que percibe la BS de todos los usuarios a los cuales les proporciona el servicio, independiente de la distancia a la cual se encuentren, compensando las pérdidas de propagación debidas a las características del canal [8].

Para la implementación del IPC, se debe identificar la Relación Señal a Interferencia más Ruido (SINR, *Signal to Interference plus Noise Ratio*) de cada una de las comunicaciones que en un determinado instante llegan a la BS desde los usuarios, la cual se muestra en la ecuación 2.

$$SINR_i = \frac{\alpha_i P_{T_i}}{\eta + \sum_{j=1, j \neq i}^K \alpha_j P_{T_j}}, \quad i \in \mathcal{K} \quad (2)$$

Donde α corresponde a la atenuación de propagación que experimenta cada una de las señales de comunicación de los usuarios, P_{T_i} es la potencia de transmisión del dispositivo móvil i -ésimo, η es el ruido térmico presente en el sistema y K es el número de usuarios presentes en una celda.

Para el análisis del control de potencia que se lleva a cabo en la estación base, α se considera como un vector de orden $1 \times K$, $N = \{\eta_1, \dots, \eta_K\}$ un vector de ruido térmico de orden $K \times 1$, $SINR$ es un vector de orden $K \times 1$ que contiene el objetivo de calidad de cada usuario y $P = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_K\}$ es un vector que contiene la potencia necesaria para satisfacer la SINR requerida. Así, el sistema queda expresado en función de un sistema de ecuaciones que permite determinar la potencia de transmisión de cada uno de los usuarios teniendo en cuenta todo el conjunto, generando la descripción del sistema definida por la ecuación 3.

$$AP = N \quad (3)$$

Donde P es el vector de soluciones de la potencia, N es un vector de ruido térmico y A es una matriz de orden K

$\times K$, definida como:

$$A = \begin{cases} -\alpha_j & i \neq j \\ -\alpha_i & i = j \\ SINR_i & i = j \end{cases} \quad (4)$$

Assumiendo que la matriz A es no singular, la potencia de transmisión de los usuarios está dada por la ecuación 5.

$$P = A^{-1}N \quad (5)$$

Este resultado asigna a cada dispositivo móvil la potencia con la cual debe transmitir, sin embargo el cálculo de potencia solo tiene en cuenta la interferencia intracelda, por lo tanto es necesario adecuar este resultado para incluir la interferencia intercelda.

2.2 ADAPTACIÓN DEL CONTROL IDEAL DE POTENCIA

El modelo de control ideal de potencia adaptado, permite determinar la potencia de transmisión para cada uno de los usuarios presentes dentro de la celda o asociados a la estación base específica. Para esto se consideró de manera independiente la interferencia generada por los usuarios fuera de la celda y se desarrolló el sistema de ecuaciones de la ecuación 6.

$$SINR_i = \frac{\alpha_i P_{T_i}}{\eta + I_0 + \sum_{j=1, j \neq i}^K \alpha_j P_{T_j}}, \quad i \in \mathcal{K} \quad (6)$$

Donde I_0 es un escalar que representa la interferencia en la estación base proveniente de los usuarios fuera de la celda, el cual se indica en la ecuación 7.

$$I_0 = \sum_{m=K+1}^M \alpha_m P_{T_m} \quad (7)$$

De esta manera el sistema de ecuaciones queda como,

$$AP = N - I_0 \quad (8)$$

Y la solución,

$$P = A^{-1}(N + I_0) \quad (9)$$

Este resultado se implementó en el escenario de simulación, estableciendo el punto de referencia requerido.

2.3 MODELO DE JUEGO

La Teoría de Juegos es una herramienta matemática que permite modelar matemáticamente una situación de conflicto o negociación entre diferentes entidades, para obtener algún beneficio sobre algún bien o recurso [3], [4], [10].

Un modelo de juego puede ser clasificado como cooperativo cuando los individuos involucrados en el Juego seleccionan su acción teniendo en cuenta su beneficio y el alcanzado por los demás participantes del Juego, o puede ser denominado no cooperativo cuando, de manera egoísta, cada usuario propende por obtener el máximo beneficio, sin tener en cuenta el estado de los demás participantes del Juego [10], [11].

Un Juego es definido por tres conjuntos, el primero de ellos representa los individuos involucrados en el juego, el segundo corresponde al conjunto de acciones que puede tomar cada participante del juego y finalmente el conjunto de los beneficios obtenidos por cada usuario, asociados a la acción tomada. Por tanto, para este artículo el modelo de juego es definido por la terna $G = (K, \{P_k\}_{k \in K}, \{u_k\}_{k \in K})$, donde K representa al conjunto de usuarios al interior de la celda P_k , es la estrategia seleccionada por cada usuario, correspondiente del conjunto de potencias que puede utilizar el dispositivo móvil de usuario. u_k es la función de utilidad definida para el presente modelo como la diferencia entre la SINR obtenida y la SINR objetivo para cada usuario, la cual se indica en la ecuación 10,

$$u_k = |SINR_k - SINR_{k,o}|, \quad k \in K \quad (10)$$

Donde $SINR_k$ representa la SINR obtenida por el k -ésimo usuario con la elección de una potencia de transmisión y $SINR_{k,o}$ corresponde a la SINR objetivo para el usuario k -ésimo.

Con el juego definido, el comportamiento del sistema con la implementación del juego sigue los siguientes pasos:

1. Para el instante $t=0$, el usuario selecciona una potencia de manera arbitraria, y la BS determina cual es la función de utilidad, para cada usuario.
2. Para $t>0$, la BS envía la información correspondiente al usuario y este analiza su debe subir o bajar el nivel de potencia.
3. La BS vuelve a calcular la SINR y se repite el paso 2.

El modelo de juego se realiza de manera independiente para cada usuario sin tener en cuenta el beneficio obtenido por los demás, por lo tanto el comportamiento del modelo de juego es no cooperativo.

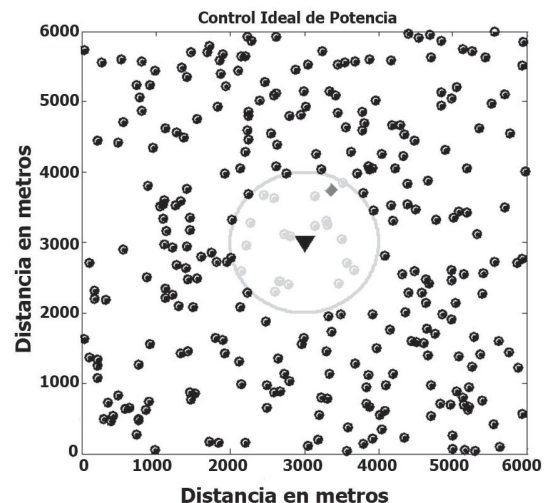
3. IMPLEMENTACION DE LOS MODELOS

Para la implementación de los modelos se definieron para los usuarios dos SINR objetivo asociados a dos tipos de calidad de servicio, los usuarios se identifican de color gris para una SINR=-20dB o cuadrados para una SINR -14dB, los usuarios en forma de rombo son aquellos que quedan fuera de servicio.

3.1 CASO 1

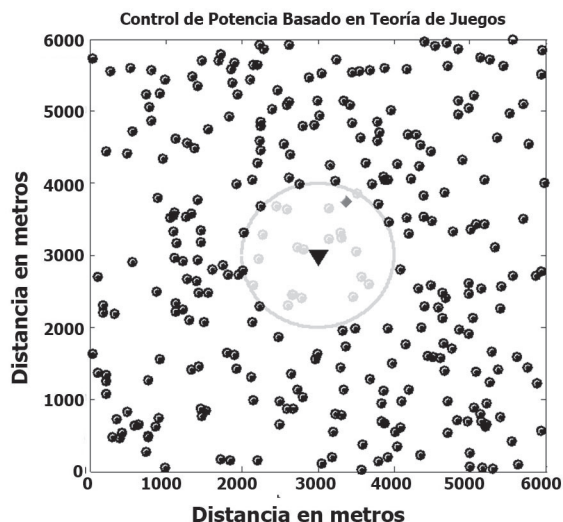
En el primer caso los usuarios tienen como objetivo alcanzar una SINR de -20dB y para ello se implementó tanto el IPC, como el modelo de juego y además se analizó el comportamiento de la SINR obtenida, de acuerdo al valor objetivo especificado.

FIGURA 2. Resultado caso uno con IPC



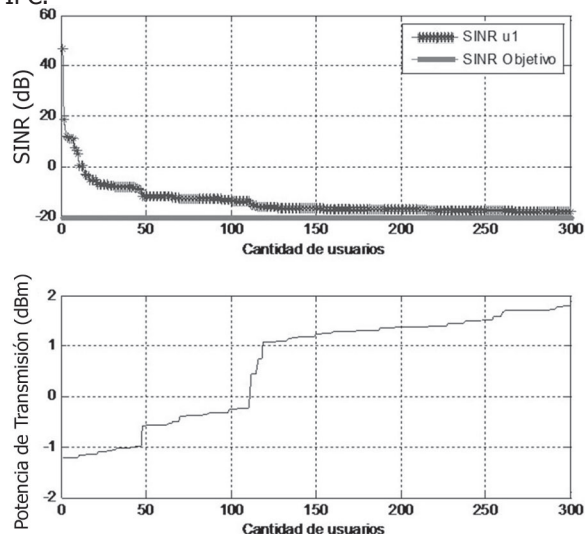
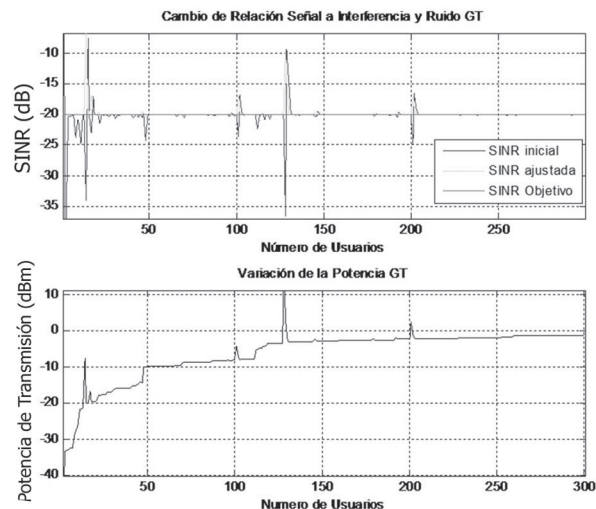
En la figura 2, se observa el resultado obtenido con el IPC en el cual la estación base atiende a la mayoría de los usuarios que se encuentran al interior de su zona de cobertura, debido a que los requerimientos de calidad de servicio son bajos, sin embargo deja de atender a ciertos usuarios por las condiciones del canal y la interferencia causada (usuarios en forma de rombo) por los usuarios tanto dentro como fuera de la celda.

En la figura 3 se muestran los resultados obtenidos con la aplicación del modelo de juego, se puede observar que el resultado es el mismo, dejando por fuera aquellos usuarios que por las condiciones del canal no les es posible ofrecer el servicio, para los dos casos se atiende un total de 29 usuarios.

FIGURA 3. Resultado caso uno con GT

En la figura 4, se presenta la variación de SINR, que experimenta un usuario en el borde de la celda para el IPC y el incremento en la potencia, necesario para mantener la SINR objetivo, cuando la cantidad de usuarios al interior de la celda se incrementa.

En la figura 5 se presenta la variación de SINR y de potencia obtenida al aplicar el modelo de Teoría de Juegos. Se puede observar, que al igual que para IPC, es necesario un incremento de potencia de transmisión para mantener la SINR objetivo, sin embargo se puede notar que el modelo de GT, trabaja con potencias más bajas, utilizando de manera eficiente la energía y por lo tanto proporciona un ajuste adecuado de la SINR.

FIGURA 4. Variación de SINR y Potencia obtenida con IPC.**FIGURA 5.** Variación de SINR y Potencia obtenida con GT

3.2 CASO 2

En el sistema se incrementan los requerimientos de SINR a -14dB . En las figuras 6 y 7, se observa que la cantidad de usuarios atendidos en la celda decrece en comparación con el caso 1, tanto para el IPC y PC, dado que la interferencia tiene un mayor impacto para los usuarios que se encuentran alejados de la estación base.

Se puede notar el efecto del desvanecimiento, donde la distribución de los usuarios atendidos deja de ser circular y se convierte en irregular.

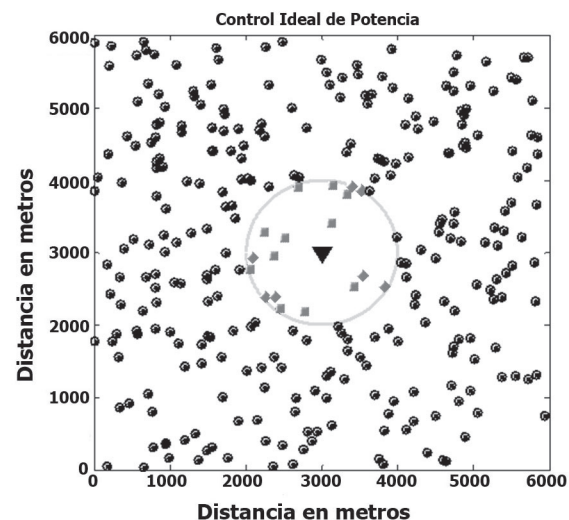
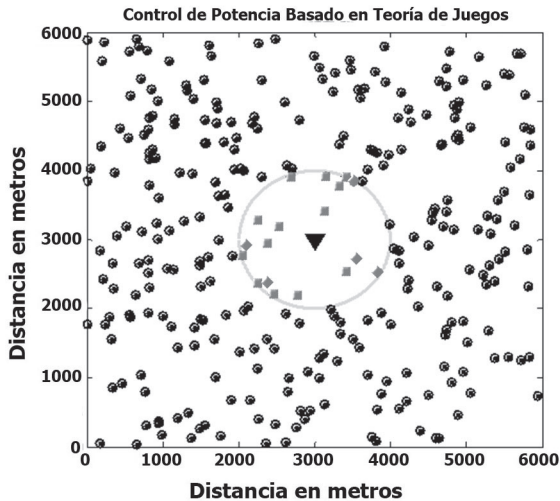
FIGURA 6. Resultado caso dos con IPC

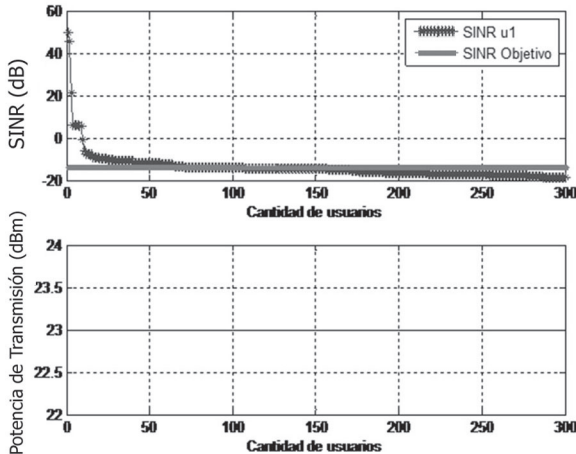
FIGURA 7. Resultado caso dos con GT.



Para el modelo de IPC, el sistema atiende 11 usuarios, mientras que en el modelo de GT, el sistema atiende 13 usuarios, obteniendo una mayor cobertura.

En la figura 8 se observa como debido a los requisitos de SINR y las condiciones del canal, la SINR del usuario en el borde de la celda decrece hasta que los requerimientos del servicio no se pueden cumplir obligando a la estación base a dejarlo sin servicio. Además se puede notar que la potencia de transmisión asignada llega a su máximo, no siendo posible alcanzar la SINR requerida.

FIGURA 8. Variación de SINR y Potencia obtenida con GT.



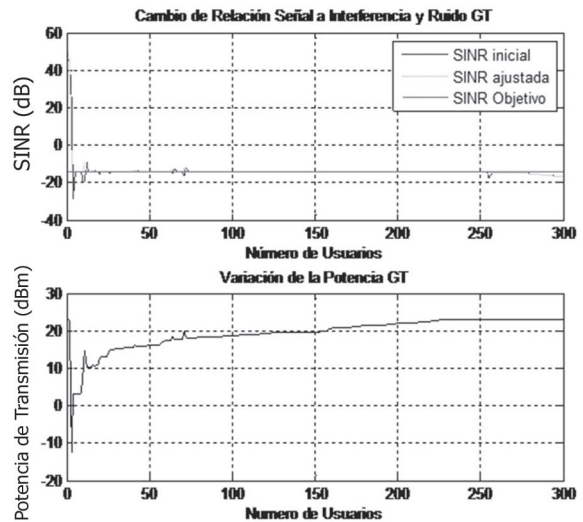
Para el modelo de GT, se observa en la figura 9, que las SINR para el usuario al borde de la celda, se mantiene más tiempo, o tolera una interferencia mayor que el resultado obtenido con el IPC.

Esto se debe a que la potencia asignada toma valores menores que para el modelo de IPC, sin embargo, cuando la cantidad de usuarios crece, el dispositivo móvil de usuario llega a la máxima potencia de transmisión permitida y finalmente queda sin servicio, debido a que no puede mantener la SINR requerida.

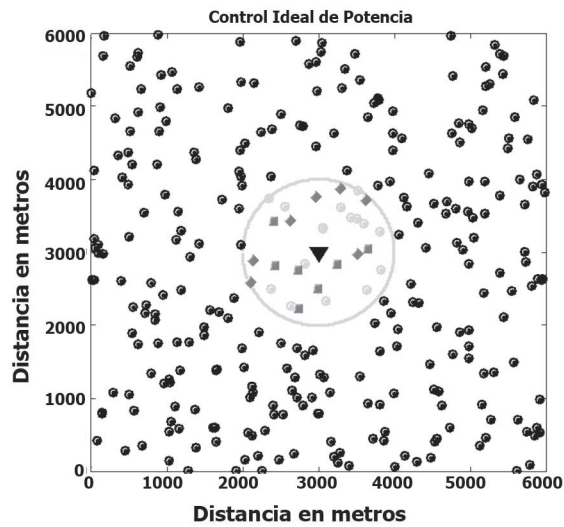
3.3 CASO 3

En este caso, se tiene simultáneamente los dos requerimientos de SINR (-20dB y -14dB). Al ingresar al escenario, a cada usuario se le asigna un tipo de servicio asociado a una SINR objetivo.

FIGURA 9. Variación de SINR y potencia obtenida con GT.

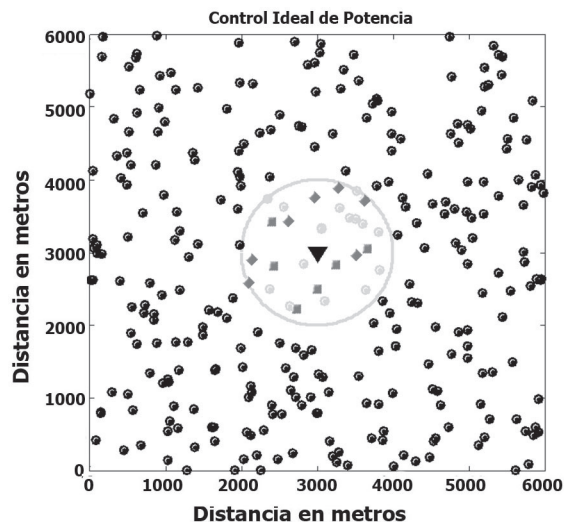
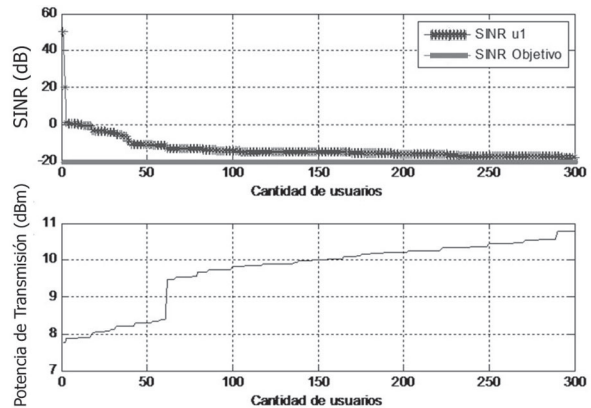


En la figura 10, se observa el resultado obtenido en el IPC, donde se puede notar la existencia de usuarios con diferentes requerimientos de SINR, la cantidad de usuarios atendidos con este modelo es de 22 usuarios.

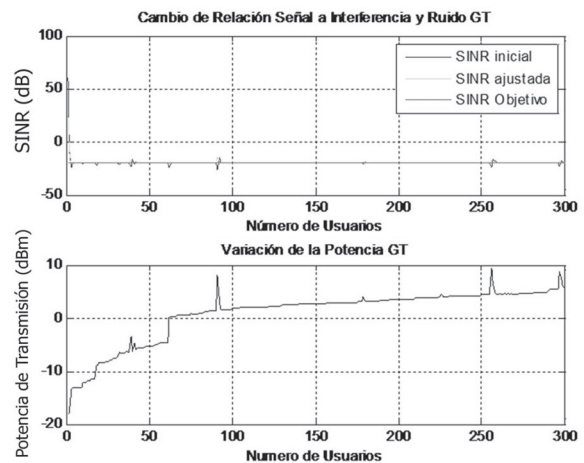
FIGURA 10. Resultado caso dos con IPC.

En la figura 11 se muestra el resultado obtenido con el modelo de GT, en el cual el sistema atiende 23 usuarios, debido a que en general la potencia con la que trabajan los dispositivos de usuario son menores que las de IPC.

La variación de SINR y Potencia mostrada en la figura 12, para el modelo de IPC, muestra que con la presencia de usuarios de menores requerimientos que los del caso dos, el sistema se satura menos y tiene la posibilidad de mantener el servicio a una mayor cantidad de usuarios, que los atendidos en el caso 2.

FIGURA 11. Resultado caso dos con GT.**FIGURA 12.** Variación de SINR y Potencia obtenida con IPC.

Para el modelo de GT, se observa en la figura 13, que pese a pequeñas fluctuaciones, la SINR se mantiene durante el ingreso de nuevos usuarios al escenario, y las potencias seleccionadas por el dispositivo móvil son menores a las asignadas en el modelo de IPC. Permitiendo que el sistema satisfaga los requerimientos de los usuarios asociados.

FIGURA 13. Variación de SINR y Potencia obtenida con GT

4. CONCLUSIONES

El control ideal de potencia permite realizar un cálculo adecuado de la potencia de transmisión en un sistema limitado por interferencia y de única portadora, sin embargo el resultado está limitado a las restricciones del dispositivo y en consecuencia el sistema eventualmente dejará sin servicio a aquellos que se les calcule una potencia fuera del rango permitido, reduciendo la capacidad del sistema.

En el modelo no formal de juego establecido hasta el momento, se utiliza de manera más eficiente la energía disponible, por lo tanto los resultados obtenidos con el modelo, muestran la importancia de realizar un correcto control de potencia, minimizando la interferencia al interior del sistema.

La consideración de desvanecimiento en los trayectos de propagación genera celdas irregulares, permitiendo tener un modelo más aproximado a la realidad del cual se pueden obtener un mejor análisis de resultados.

Los resultados obtenidos muestran la importancia de aplicar la Teoría de Juegos al Control de Potencia, dado que los conceptos asociados permiten una negociación o autoconfiguración de sistema más eficiente, consiguiendo en la mayoría de los casos un ahorro de energía.

6. REFERENCIAS

- [1] ZANDER, Jens. Radio Resource Management in Future Wireless Networks – Requirements and Limitations. IEEE Communications Magazine. Radio Communication Systems, Dept of Signals, Sensors & Systems, Royal Institute of Technology. vol. 35, 1997, pp. 30-36.
- [2] SHAIKH, Ayaz Ahmed, et. al. Radio Resource Management Strategies in 3G UMTS Network. National Conference on Emerging Technologies. Mehran UET, Jamshoro, State Bank of Pakistan, 2004.
- [3] MESHKATI, Farhad, et. al. A Game-Theoretic Approach to Energy-Efficient Power Control in Multi-Carrier CDMA Systems. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Cornell University Library, 2006, pp. 1115 - 1129.
- [4] GOODMAN, David y MANDAYAM, Narayam. Power Control for Wireless Data. IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications. Polytechnic University and Rutgers University, 1999, pp. 55-63.
- [5] ZHANG, Yan y GUIZANI, Mohsen. Game theory for wireless communications and networking. U.S.: CRC Press, 2011. 571 p.
- [6] NEUMANN, Jhon y MORGENSTERN, Oskar. Theory of games and economic behavior. Princeton University Press, 1953, pp.1-20.
- [7] XIA, Wang y QI, Zhu. Power Control for Cognitive Radio Base on Game Theory. International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing, 2007, pp.1256-1259.
- [8] MENDO, Luis. Capacidad en Sistemas Celulares W-CDM. Tesis Doctoral, Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid, 2001.
- [9] QUINTERO, Víctor. Evaluación del Desempeño de Sistemas de Comunicación Móvil Celular de Tercera Generación – WCDMA. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, 2010.
- [10] LASAULCE, Samson y TEMBIENE, Hamidou. Game theory and learning for wireless networks. Fundamentals and applications. Kindlington, Oxford: Academic Press, 2011. 323 p.