

# Espectro ensanchado

Jose Noe  
Poveda Zafra

## RESUMEN

Los fabricantes de equipos de comunicaciones inalámbricos buscan continuamente nuevas técnicas para aumentar la capacidad de los canales, que cada día son más congestionados por la gran demanda de nuevos usuarios. Uno de los campos que más se investiga son las técnicas de acceso múltiple, donde muchos usuarios comparten una banda de frecuencias porque no existe un ancho de banda disponible para asignar un canal de frecuencias permanente a cada usuario.

Este artículo muestra las técnicas de espectro ensanchado SS (del Inglés Spread Spectrum ) que permite el uso simultáneo de una banda amplia de frecuencias por parte de muchos usuarios mediante técnicas de acceso múltiple por división de código CDMA (del Inglés Code Division Multiple Access), para aumentar en gran proporción su capacidad en relación con las técnicas convencionales de acceso múltiple.

**Palabras Claves:** Espectro Ensanchado, comunicaciones inalámbricas, CDMA, secuencia directa, saltos de frecuencia, chip, PCS, Telefonía Celular.

## SPREAD SPECTRUM ABSTRACT

The manufacturers of wireless communications equipment continuously look for new techniques to increase the capacity of the channels, that every day are more congested by the great demand of new users. One of the fields that are investigated more are the techniques of multiple access, where many users share a frequency band because a bandwidth does not exist to assign a permanent frequency channel to each user. This article shows the techniques of widened

Phantom SS (of the English Spread Spectrum) that allows the simultaneous use of an ample band of frequencies by many users by means of techniques of multiple access by division of code CDMA (of the English Code Multiple Division Access), to increase in great proportion its capacity in relation to the conventional techniques of multiple access.

**Key Words:** Spread Spectrum, wireless communications, CDMA, direct sequence, frequency hopping, chip, PCS, celular telephone.

## INTRODUCCION

El problema de acceder óptimamente un canal de comunicaciones cuando existen varios usuarios es de fundamental importancia en especial si los recursos del canal son limitados. Este es el caso de los sistemas inalámbricos, en la que el ancho de banda es asignado por lo general por licencia gubernamental y debe por lo tanto ser aprovechado al máximo. Teniendo en cuenta que el espectro disponible es un recurso limitado, es necesario diseñar estrategias de acceso múltiple, de tal forma que se pueda asignar, dentro de las debidas restricciones económicas la mayor cantidad de usuarios dentro de un ancho de banda debidamente asignado. Dentro del marco de las comunicaciones inalámbricas (Móviles), la evolución en el modo de acceso ha pasado por Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA), Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) y últimamente Acceso Múltiple por División de Código (CDMA), el cual se está posicionado como el modo de acceso múltiple que domina las comunicaciones inalámbricas digitales del principio del siglo XXI.

El Espectro Ensanchado se basa en la expansión del espectro de la señal a transmitir por medio de

El problema de acceder óptimamente un canal de comunicaciones cuando existen varios usuarios es de fundamental importancia en especial si los recursos del canal son limitados.

secuencias ortogonales. De esta forma, el receptor solo puede demodular la señal si conoce la secuencia que se ha utilizado en su expansión. los demás transmisores que utilicen la misma banda ven la señal básicamente como ruido. Sin embargo para poder decodificar las señales CDMA debe haber una estricta sincronización entre las señales CDMA recibidas y el código generado en el receptor[1].

El Acceso Múltiple por División de Código se ha convertido en un candidato importante para la próxima generación de los sistemas de comunicaciones móviles, terrestres y satelitales. Aunque las técnicas de espectro ensanchado han sido utilizadas para aplicaciones militares por medio siglo, solo hasta ahora se ha reconocido que esta técnica combinada con algunos pasos adicionales puede proporcionar una capacidad más alta y mejor flexibilidad para las comunicaciones de radio celular móvil desde el punto de vista que no existen límites absolutos para el número permitido de usuarios simultáneos. En estos sistemas N usuarios usan la misma banda de frecuencias y se asume que todas las señales tienen la misma potencia S.

## GENERALIDADES

La señal de información transmitida es ensanchada en un espectro de frecuencias mucho más ancha, de hecho, que el mínimo ancho de banda necesario para enviar información, se intercambia ancho de banda de transmisión por una densidad de potencia menor y un mayor rechazo a la interferencia en la misma banda de frecuencias. En otras palabras toma la señal de información de unos pocos kilohertz y los distribuye en una banda que puede ser de muchos megahertz. Hay dos aspectos importantes a tener en cuenta en los diferentes métodos de espectro ensanchado, la relación señal a ruido y la ganancia del proceso.

La información misma puede ser incrustada en la señal del espectro ensanchado por varios métodos

## RELACIÓN SEÑAL A RUIDO DEL ESPECTRO ENSANCHADO

Para cualquier relación señal a ruido (S/N) dada, podemos tener una proporción de error de

información baja, dada la siguiente relación:

$$\begin{aligned} N/S &= 1.44W/C \\ W &= NC/1.44S \end{aligned}$$

Así incrementando el ancho de banda por ejemplo se puede tener S/N pequeñas. Incidentalmente la información misma puede ser incrustada en la señal de espectro ensanchado. De esta forma la base de la tecnología del espectro ensanchado expresada hace 50 años aproximadamente por Shannon en forma de la capacidad de canal:

$$C = W \log_2 (1 + S/N)$$

donde C = capacidad del canal en bits por segundo  
W = ancho de banda en Hz.  
N = potencia del ruido  
S = potencia de la señal

Esta ecuación muestra, la habilidad de un canal para transferir información libre de error, compara con la relación señal a ruido existente en el canal y el ancho de banda utilizado para transmitir la información. Y para  $S/N < 0.1$  por expansión logarítmica tenemos que:

$$C = 1.44WS/N$$

De esta ecuación se obtuvo[2]:

$$W = NC/S$$

Un sistema de espectro ensanchado debe reunir dos criterios, el ancho de banda transmitido es mucho más amplio que el ancho de banda de velocidad de información que está siendo enviada y en segundo, la información que está siendo enviada es empleada para determinar el ancho de banda modulada de RF resultante.

Esta es la esencia de las comunicaciones de espectro ensanchado: el arte de expandir el ancho de banda de una señal, transmitir la señal expandida y recuperar la señal deseada transformando el espectro ensanchado recibido en el ancho de banda original de la información, además el proceso de realizar una serie de intercambios de ancho de banda, el propósito es permitir que el sistema entregue información más segura y libre de error en un ambiente de señal ruidosa.

El propósito es permitir que el sistema entregue información más segura y libre de error en un ambiente de señal ruidosa.

## SECUENCIA DIRECTA

En DS-SS (del inglés Direct Sequence-SS) la señal de información es directamente modulada por una señal de código de valor discreto, de tiempo discreto y digital. La señal de información puede ser analógica o digital; en la mayoría de los casos es digital. En el caso de una señal digital la modulación de la información es frecuentemente omitida y la señal de información es directamente multiplicada por la señal de código, la señal resultante es modulada con una portadora de banda ancha. Es de esta multiplicación directa que se deriva el nombre de secuencia directa de CDMA.

La señal de información binaria modula una portadora RF. La portadora es luego modulada por la señal de código. Esta señal de códigos consta de un número de bits de código llamados "chips" que pueden ser +1 o -1.

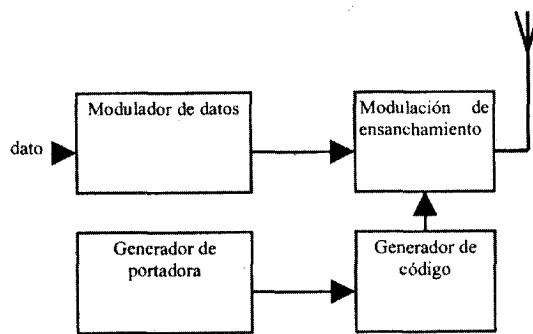


Fig. 1 Diagrama de Bloques de un transmisor DS-SS

Para obtener el ensanchamiento deseado de la señal, la tasa de chip de la señal de código debe ser mucho más alta que la tasa de chip de información. Para la modulación de código varias técnicas pueden usarse, pero usualmente alguna forma de modulación por cambio de fase (PSK), modulación por cambio de fase binaria (BPSK), modulación por cambio de fase binaria diferencial (D-BPSK), modulación por cambio de fase en cuadratura (QPSK), o modulación por cambio mínimo (MSK) [3].

Por ejemplo usando modulación BPSK para la modulación de código tenemos el siguiente diagrama de bloques de la figura 2.

Sincronización debe alcanzarse en el inicio de la recepción y mantenerse hasta que la señal haya sido recibida.

La tasa de la señal de código es llamada tasa de chip. Un chip denota un símbolo cuando se refiere a señales de código de ensanchamiento en la fig. 3 diez chips de código por símbolo de información son transmitidos así la ganancia del proceso  $G_p$  es 10.

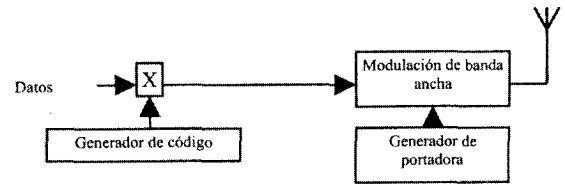


Fig. 2 diagrama de bloques de un transmisor DS-SS modificado

Después de la transmisión de la señal, el receptor usa demodulación coherente para el desensanchamiento de la señal SS, usando una secuencia de código generada localmente. Para ser capaz de desarrollar la operación de desensanchamiento, el receptor no solamente debe conocer la secuencia de código usada para ensanchar la señal sino que además los códigos de la señal recibida y los códigos generados localmente deben estar sincronizados. Esta sincronización debe alcanzarse en el inicio de la recepción y mantenerse hasta que la señal haya sido recibida. El bloque de sincronización de código desarrolla esta operación, después del desensanchamiento resulta una señal de información modulada, y luego de la demodulación la información original puede ser recuperada.

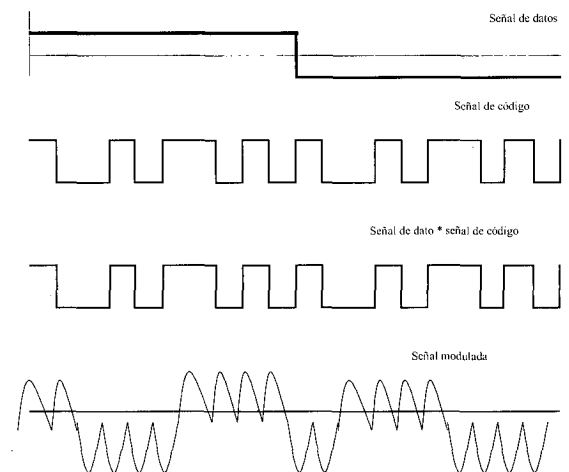


Fig3. Generación de una señal de espectro ensanchado BPSK

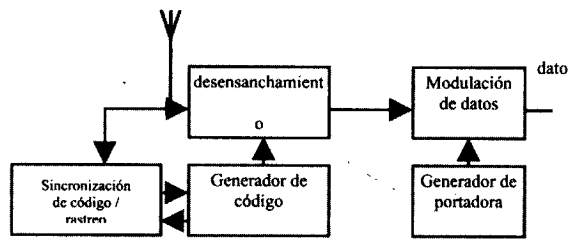


Fig4. receptor de una señal DS-SS

Las propiedades ventajosas de señales espectro ensanchado más importantes desde el punto de vista CDMA son las capacidades de acceso múltiple, el rechazo a la interferencia multitrayectoria, el rechazo a la interferencia de banda angosta, y con respecto a la seguridad / privacidad de la comunicación, la baja probabilidad de intersección.

Si múltiples usuarios usan canal al mismo tiempo habrá múltiples señales DS traslapándose en tiempo y frecuencia. En el receptor la demodulación coherente se usa para quitar la modulación de código. Esta modulación concentra la potencia del usuario deseado en el ancho de banda de la información. Si las correlaciones cruzadas entre el código del usuario deseado y los códigos de los usuarios interferentes son pequeñas, la detección coherente solo pondrá una pequeña parte de la potencia de las señales interferentes dentro del ancho de banda de la información.

Si la secuencia de código tiene una función de autocorrelación ideal, entonces la función de correlación es cero fuera del intervalo  $(-T_0, T_0)$  donde  $T_0$  es la duración del chip. Esto significa que si la señal deseada y una versión que es retrasada por más de  $2T_0$  son recibidas, la demodulación coherente tratará la versión retrasada como una señal interferente, colocando una sola pequeña parte de la potencia en el ancho de banda de información.

## SALTO DE FRECUENCIAS

En CDMA por saltos en frecuencia (FH), la frecuencia de la portadora de la señal de información modulada no es constante sino que cambia periódicamente. Durante intervalos de tiempo  $T$  la frecuencia de la portadora permanece igual, pero después de cada intervalo de tiempo la portadora

salta a otra frecuencia. El patrón de saltos se decide por la señal de código. El conjunto de frecuencias disponible que la portadora puede alcanzar se llama **Hop-Set**

La ocupación de frecuencias de un sistema SS-FH difiere considerablemente de un sistema SS-DS. Un sistema DS ocupa una banda de frecuencia entera cuando transmite, mientras que un sistema FH usa solamente una pequeña parte del ancho de banda cuando transmite, pero la localización de esta parte difiere en el tiempo.

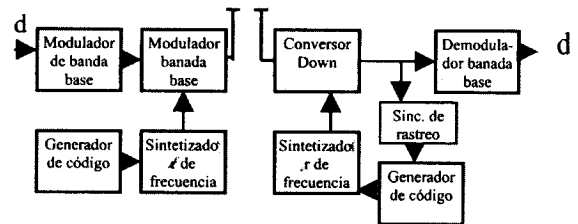


fig. 5. Diagrama de bloques de un transmisor receptor FH-CDMA

Para la figura anterior la señal de información es modulada en banda base. Utilizando un sintetizador de frecuencia rápido que es controlado por la señal de código, la frecuencia de la portadora es elevada a la frecuencia de transmisión.

El proceso inverso toma lugar en el receptor. Utilizando una secuencia de código generado localmente, la señal recibida inicialmente es bajada a la banda base. La información se recupera después de la demodulación (en banda base). El circuito de sincronización/rastreo asegura que el salto de la portadora generada localmente se sincronice al patrón de saltos de la portadora recibida tal que sea posible el desensanchamiento correcto de la señal.

Dentro de un Acceso Múltiple por División de Código de Saltos de Frecuencia se hace una distinción basada en la tasa de saltos de la portadora. Si la tasa de saltos es más grande que la tasa de símbolos, se habla de un salto de frecuencias rápido. En este caso la frecuencia de la portadora cambia un número de veces durante la transmisión de un símbolo, de forma que un bit es transmitido en

Utilizando una secuencia de código generado localmente, la señal recibida inicialmente es bajada a la banda base.

diferentes frecuencias. Si la tasa de símbolos es más pequeña que la tasa de saltos se dice que son saltos de frecuencia lentos, en éste caso múltiples símbolos son transmitidos en la misma frecuencia.

El ancho de banda ocupado por la señal en uno de los saltos de frecuencia depende no solamente del ancho de banda de la señal de información sino además de la señal de saltos. Si la frecuencia de saltos es mucho más pequeña que el ancho de banda de información entonces el ancho de banda de la información es el principal factor que decide el ancho de banda ocupado. Si la frecuencia de saltos es mucho más grande el ancho de banda de la información, ésta predomina en el ancho de banda.

En el SS-FH múltiples símbolos son transmitidos en una frecuencia. Si la probabilidad de que otros usuarios transmitan en la misma banda de frecuencia es lo suficientemente baja, el usuario deseado será recibido correctamente la mayor parte del tiempo. Para esos tiempos en que los usuarios interferentes transmitan en la misma banda de frecuencias, los códigos correctores de error se usan para recobrar la información transmitida durante ese período.

La técnica para manipular los desplazamientos de frecuencias, y más utilizada es FSK o BPSK [4], difiere del convencional en que el grupo de frecuencias escogido es mucho más expandido. El FSK simple utiliza solo dos frecuencias. Los saltadores de frecuencia por lo general tienen miles de frecuencias disponibles. Un sistema real tiene  $2^{20}$  tipos de frecuencias discretas. Escogidas aleatoriamente, cada una sobre la base de un código en combinación con la información transmitida. El número de frecuencias escogidas y la velocidad de saltos de frecuencia a frecuencia en cualquier saltador de frecuencias es gobernado por los requerimientos establecidos en él, para un uso particular.

## SALTOS EN EL TIEMPO (TIME HOPPING)

En Acceso Múltiple por División de Código por saltos de tiempo, la señal de información es transmitida en ráfagas rápidas en intervalos de tiempos determinados por el código asignado al usuario. El eje del tiempo se divide en tramas, y cada

trama es dividida en M ranuras de tiempo (time slots). Durante cada trama el usuario transmitirá en uno de las M ranuras de tiempo, en cual de las M ranuras se transmite depende de la señal de código asignada al usuario. Puesto que un usuarios transmite toda su información en uno, luego la frecuencia necesaria para transmitir se incrementa por un factor M.

En TH-CDMA el espectro de ancho de banda total se usa en períodos de tiempo cortos en lugar de pequeñas partes del espectro en todo tiempo.

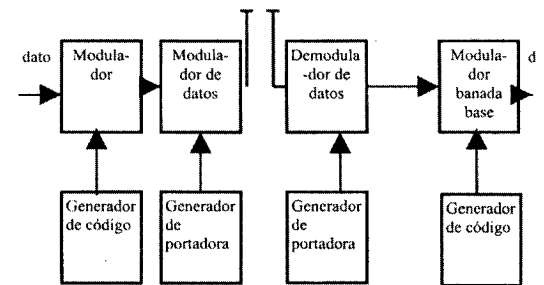


Fig. 6. Diagrama de bloques de un transmisor y receptor TH-CDMA

En caso de que en la misma banda de frecuencias estén todas la transmisiones, hay que evitarlo haciendo que la probabilidad de dos transmisiones simultáneas sea baja; esto es logrado por la asignación de diferentes códigos a diferentes usuarios. Si ocurren múltiples transmisiones, los códigos correctores de errores aseguran que la señal deseada puede ser, a pesar de todo, recuperada. Si hay sincronización entre usuarios, y los códigos de asignaciones tales que un solo usuario transmita en una sola ranura, entonces TH-CDMA se reduce a un esquema TDMA donde la ranura donde el usuario transmite no es fija sino que cambia de trama a trama.

## SISTEMAS HIBRIDOS

Los sistemas híbridos CDMA incluyen todos los sistemas CDMA que emplean una combinación de dos o más de las técnicas de modulación del espectro ensanchado antes mencionados a una combinación CDMA con algunas de las técnicas de acceso

En caso de que en la misma banda de frecuencias estén todas la transmisiones, hay que evitarlo haciendo que la probabilidad de dos transmisiones simultáneas sea baja;

múltiple. Por combinación de las técnicas básicas de modulación del espectro ensanchado se tienen cuatro posibles sistemas híbridos: DS/FH, DS/TH, FH, TH y DS/FH/TH. La idea de los sistemas híbridos es la combinación de ventajas específicas de cada técnica de modulación. Si se toma, por ejemplo, el sistema combinado DS/FH, se obtiene la ventaja de la propiedad de anti-multitrayectoria del sistema DS combinado con la operación *near-far* favorable del sistema FH. Por supuesto, la desventaja se basa en la incorporación de la complejidad del transmisor y el receptor.

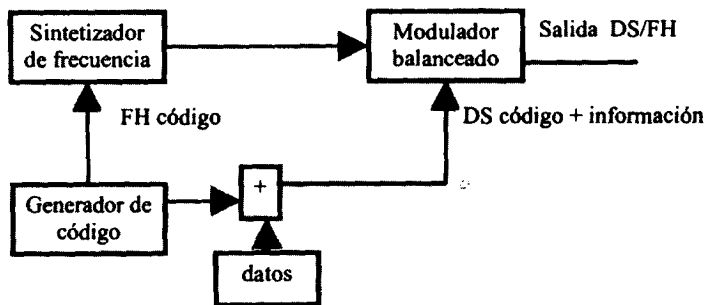


Fig. 7. Sistema híbrido DS-FH-CDMA

La señal de información es primero ensanchada usando una señal de código SD. La señal ensanchada es luego modulada en una portadora cuya frecuencia salta de acuerdo la secuencia de código que igual para ambas técnicas.

## APLICACIONES

### SISTEMAS CELULARES DE ACCESO MULTIPLE POR DIVISIÓN DE CÓDIGO

Los sistemas celulares son un sistema de comunicaciones móvil por radio, basado en la reutilización de la frecuencia. Un sistema de telefonía celular esta estructurado sobre un conjunto de canales de RF definida para un área denominada células en la cual se alejan múltiples estaciones móviles que responden a una estación base (BS), la cual está conectada a una central de conmutación móvil (MSC), la misma que está integrada con la red pública de telefonía conmutada (PSTN). La extensión geográfica de una red de telefonía celular

puede cubrir toda una ciudad, y están constituidas por muchas células, de tal forma que celdas adyacentes contengan un conjunto de canales de frecuencia distintas para evitar interferencia mutua. La técnica de reutilización de frecuencias es una manera de economizar banda de espectro de radio y aumentar la capacidad de usuarios telefónicos. La banda de frecuencias destinada para la telefonía celular esta en la banda de 800 y 900 Mhz[5]. Y tiene un ancho de banda de 50 Mhz, que a su vez es dividida en bandas A y B. cada una con 25 Mhz. La banda A, esta destinada para conectarla con la red PSTN. La banda B esta destinada para los operadores celulares privados.

## GENERACIONES CELULARES

La primera generación celular data de los 70, diseñados con tecnologías analógicas de la época. La mayor parte de estos sistemas todavía funciona con esta técnica denominada AMPS (Advanced mobile phone service) desarrollado por los laboratorios Bell y posteriormente estandarizado con la norma TIA 553[6]. Los problemas que tienen son interrupción momentánea de la señal (handoff), limitación de usuarios, la privacidad y autenticidad son vulnerables y fraude de teléfonos celulares "Clone".

La segunda generación se inicia con la emergente tecnología digital Acceso Múltiple por División de tiempo TDMA y CDMA Acceso Múltiple por División de Código. Con esta generación se mejoran los problemas del sistema anterior, como la capacidad, seguridad, calidad y costo del servicio. Se desarrolló en los 90s con más auge en Europa. La tecnología TDMA esta normalizada en IS - 136 la cual incorpora un control digital de canal, lo que permite al operador de la red una gran eficiencia en la operación de tráfico de servicio.

En 1992 fue propuesto un nuevo sistema de telefonía celular basado en Spread Spectrum, llamado CAI (Acceso Múltiple por División de Código common Airinterface). En 1994 la TIA / EIA acogió la propuesta denominada IS-95[7]. Donde este sistema puede soportar 10 veces el número de usuarios en sistemas analógicos, ofreciendo una serie de beneficios que incluyen alta velocidad, mejor calidad, seguridad y eliminación

de la necesidad de planificación en la asignación de frecuencias para las células. El primer sistema CAI se implementó en Hong Kong en 1995. El problema de esta tecnología es el rígido control de potencia por parte del usuario. Necesario para eliminar los problemas de interferencia teniendo en cuenta la recepción además del ruido propio de banda amplia todos los usuarios de un determinado canal RF dentro de la célula que interfiere entre sí, pues ocupan todos la misma banda.

Para los sistemas celulares digitales CDMA que emplean control de potencia tal que todas las señales de enlace ascendente (Móvil a base) son recibidas en el mismo nivel de potencia, y todos los usuarios son distribuidos (DS o FH) sobre el total del ancho de banda disponible  $W$ , luego la capacidad para  $N$  usuarios la señal ascendente recibida en el sitio de la base consta de la señal deseada con potencia  $S$  y  $N-1$  usuarios perturbadores, cada uno con potencia  $S$ , por el obligado control de potencia. La relación señal a interferencia en la base es  $S/I = S/(N-1)S = 1/(N-1)$ , y la energía por bit a la densidad espectral de potencia de interferencia  $E_b/I_0$  puede ser deducido de igual manera luego se llega que la capacidad de celda esta dada por  $N = W I_0 / R E_b$ , donde  $R$  es la señal de ruido. Esto señala que el número de usuarios  $N$  por ancho de banda  $W$  asume que cada perturbador esta transmitiendo continuamente. Siempre que un patrón de reuso de células única, dé un desempeño aceptable el número de usuarios, puede ser incrementado por el factor de sectorización. En CDMA el elemento básico es  $E_b/I_0$  (energía de bit / potencia por Hz) lo cual es relacionado con la razón de error de trama (FER). Desde el aspecto de diseño del sistema, consideremos el rendimiento con todas las velocidades del móvil y condiciones ambientales.

En el ambiente celular se ha ubicado en 25 Mhz del espectro en nuestro medio es dividido en dos operadores en cada área del servicio. El espectro además es dividido en celdas, con máximo 57 canales de FM análogos en un sitio de celda de tres sectores. Cuando la demanda está en el máximo al llamador 58-avo en una celda dada le debe ser dada una señal de ocupado en el sistema. No hay un modo de adicionar una señal a un sistema totalmente ocupado. Este comportamiento de bloqueo de llamada resultara de una perdida en su capacidad.

Con el sistema CDMA, sin embargo, hay una

relación mucho más suave entre el número de usuarios y el grado de servicios. El operador puede permitir una llamada adicional a costas de una pequeña degradación de la velocidad de error de bit e incrementa el número de canales disponibles en las horas pico. Además el operador puede ofrecer calidad de servicio (a diferentes costos), asignando una potencia más alta o ciertos usuarios con prioridad.

## SISTEMAS DE COMUNICACIONES PERSONALES

A los PCS (Sistemas personales de comunicaciones) se asignan 60 Mhz en cada vía, con tres canales de 5 Mhz. En el rango de 1.85 a 1.990 Ghz. Motorola incorporó en 1994 una forma híbrida de acceso múltiple experimental, en particular SFH-CDMA combinado con TDMA[8], este sistema fue diseñado para permitir verdadera movilidad portable y vehicular con celdas de gran radio (1 a 4 millas) mientras permite la coexistencia con sistemas PCS de costos más bajos que operan en ambientes de solo peatones. Es deseable para soportar el margen total de servicios PCS, incluyendo datos, voz y posteriormente multimedios.

Dentro de una celda, la ortogonalidad es estrictamente mantenida. Requiriendo que dos usuarios no ocupen la misma frecuencia en el mismo tiempo. El SFH-CDMA permite al sistema incorporar diversidad de frecuencias, el cual minimiza la degradación del rendimiento debido a los canales de desvanecimiento bajos, también como la diversidad de interferencias, lo cual asegura que el sistema no este sujeto a un problema de interferencia de peor caso. TDMA es empleado como el método de acceso múltiple intracelular en este sistema. TDMA fácilmente permite la introducción de conceptos "ancho de banda por demanda" y velocidades de datos asimétricos de enlace descendente y ascendente.

## CONCLUSIONES

Las técnicas de control de potencias usadas para mantener la potencia transmitida en el mínimo

Dentro de una celda, la ortogonalidad es estrictamente mantenida. Requiriendo que dos usuarios no ocupen la misma frecuencia en el mismo tiempo.

requerido para soportar una alta calidad de llamada así, menos potencia = menos energía = menos interferencia = más capacidad. Con técnicas de codificaciones de voz de tasa variable que reduce la tasa transmitida cuando el interlocutor no está hablando. Esta técnica permite al canal ser empaquetado más eficientemente, resultando en capacidad adicional. CDMA de costo más efectiva a largo plazo, este costo beneficio se debe a dos factores, más alta capacidad por sitio, de tal forma que más pocos sitios son necesarios para la demanda de tráfico y la cobertura generada por CDMA supera a las demás tecnologías en eficiencia de cobertura y menos sitios requeridos.

La capacidad se incrementa de 8 a 10 veces comparada con los sistemas analógicos AMPS y de 4 a 5 los sistemas GSM[9].

El sistema de planeación de estas redes es más simple a través del uso de la misma frecuencia en cada sector de cada celda, privacidad aumentada, menos celdas, ancho de banda por demanda.

En un sistema CDMA puede utilizar todo el espectro en una celda en vez de una fracción. En TDMA cada celda solo puede utilizar una pequeña fracción de todos los canales disponibles lo cual resulta en un Factor de Reducción de Interferencia Co-canal (CIFR) más alto.

Los resultados a corto y largo plazo demuestran que la tecnología CDMA es la elección más económica en función de los análisis de costo capital y costos de operación. Estas ventajas se deben a la capacidad y difusión que ofrece esta tecnología. Estas ventajas se traducen en beneficios para el operador y el usuario que, a la larga, fomentan la prosperidad del negocio.

## REFERENCIAS

- [1] DIXON. Rover C. *Spread Spectrum. 3ra Edición*, John Wiley & Sons, inc. 1994
- [2] Monguí Edgar, Ambuila Elenith. *Adaptación de los Sistemas Móviles a la Tecnología CDMA*, Tesis Universidad Distrital 2000.
- [3] PLIKEMMA Paul G, *Spread Spectrum Techniques for Wireless Communication*, London, IEEE Signal Processing Magazine, mayo de 1997.
- [5] COUCH León W. *Sistemas de Comunicaciones Digitales. 5ta. Edición*. Prentice Hall S.A. 1998.
- [6] Herbert Luna Galeano, *Sistemas de Telefonía Celular, rumbo a la tercera generación*. Revista de CINTEL. Vol 4 N° 11. Abril-Junio de 1997.
- [7] [www.cdg.org](http://www.cdg.org)
- [8] Steinhauer, R, *CDMA la mejor Opción para telefonía celular y acceso inalámbrico*, Qualcomm, conferencia de expo-celular COMCEL, junio 16 de 1997
- [9] [www.cdg.org](http://www.cdg.org)

---

### José Noé Poveda Zafra

Ingeniero Electrónico, U. Distrital. Participante de la Maestría en Teleinformática de la U. Distrital.  
Profesor Facultad de Ingeniería, U. Distrital.  
E-mail: [jpoveda@atlas.udistrital.edu.co](mailto:jpoveda@atlas.udistrital.edu.co)