

# Estudio de las imperfecciones en los osciladores

## Estimación de las derivas y su corrección en la estación terminal de un sistema CDMA en modo UTRA-TDD

Alvaro Mendoza Agudelo\*, Luis Torres Herrera\*\*,  
Humberto Campanella Pineda\*\*\*

### Resumen

Cuando se quiere analizar el rendimiento de un sistema de comunicaciones, uno de los factores más importantes es el que tiene que ver con la estabilidad en frecuencia. El objetivo de este artículo es evaluar el impacto causado por las variaciones de frecuencia de los osciladores del sistema UTRA-TDD y proponer una estrategia de corrección.

Las etapas de adquisición y demodulación de usuario en UTRA-TDD se dificultan por la presencia de imperfecciones en los circuitos osciladores que generan las señales portadoras, lo que ocasiona una degradación considerable en el proceso de recepción, ya que se presentan pérdidas de señal debidas a una modulación o demodulación no ideal.

Para evitar la degradación del sistema, se realiza una estimación de las perturbaciones introducidas por los osciladores, con objeto de corregirlas en el circuito receptor. Para este propósito se hace necesario asumir situaciones no ideales basadas en ciertos modelos conocidos de comportamiento en la frecuencia.

Finalmente, la simulación software permite la caracterización y validación de la estrategia de corrección propuesta, mediante la evaluación de ciertos parámetros de calidad propios del sistema, tales como el  $E_b/N_0$  y la tasa de bits errados.

**Palabras claves:** UMTS, UTRA-TDD, CDMA, QPSK, deriva, jitter, oscilador, secuencia de entrenamiento (midamble), estimación de fase.

### Abstract

One of the most important aspects to be considered in the study of a communication system performance is the frequency stability. The objective of this article is to evaluate the impact caused by the frequency variations of the oscillators in the UTRA-TDD system and to propose a correction strategy.

Acquisition and user demodulation processes in UTRA-TDD are hindered by the presence of imperfections in the oscillating circuits that generate the carrier signals, causing a considerable degradation in the reception process due to a non-ideal modulation or demodulation.

\* Ingeniero Electrónico, Universidad del Norte. [alvaromendoza@yahoo.com](mailto:alvaromendoza@yahoo.com)

\*\* Ingeniero Electrónico, Universidad del Norte. [luisortorres08@celcaribe.net.co](mailto:luisortorres08@celcaribe.net.co)

\*\*\* Master en Sistemas y Redes de Comunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid; Ingeniero Electrónico, Pontificia Universidad Javeriana. [hcampane@uinorte.edu.co](mailto:hcampane@uinorte.edu.co)

*In order to avoid the system degradation, an estimation of the perturbations caused by the oscillators is done. For this purpose, it is important to consider non-ideal situations based on certain well-known models of frequency behavior.*

*Finally, the software simulation allows the characterization and validation of the proposed correction strategy, by means of the evaluation of the characteristic parameters of the system, such as  $E_b/N_0$  and the bit error rate.*

**Key words:** UMTS, UTRA-TDD, CDMA, QPSK, drift, jitter, oscillator, training sequence (midamble), phase estimation.

---

## INTRODUCCIÓN

El auge que han tomado las telecomunicaciones en todo el mundo, en la actual era del conocimiento y la información, ha generado el interés por el diseño de novedosos sistemas de comunicaciones que posean gran capacidad de aplicaciones (voz, datos, imágenes, Internet) y un rendimiento satisfactorio.

El desarrollo de las telecomunicaciones móviles ha sido producto de todo un proceso evolutivo, en el cual se pueden distinguir tres períodos conocidos como la primera, la segunda y la tercera generación.

La primera generación comenzó en los ochentas con servicios básicos de telefonía móvil a través de tecnologías analógicas. Más tarde, a principios de los noventas, se inició la segunda generación, cuando comenzó a emplearse la tecnología digital en sistemas celulares.

Actualmente, ciertas organizaciones regulatorias y de estandarización de las telecomunicaciones, tales como el ETSI<sup>1</sup> y la ITU<sup>2</sup>, están trabajando en un proyecto de tercera generación llamado UMTS<sup>3</sup> o IMT-2000<sup>4</sup>, cuya intención es satisfacer las demandas presentes y futuras mediante la implantación de un único sistema de telefonía móvil mundial. La interfaz de radio de UMTS/IMT-2000 para TDD/CDMA recibe el nombre de UTRA-TDD<sup>5</sup>, la cual soportará las operaciones con una alta eficiencia espectral y calidad de servicio.

En lo referente al estudio del enlace descendente en UTRA-TDD existen ciertas situaciones no ideales en los osciladores del sistema, las cuales afectan de manera significativa al rendimiento del sistema.

---

<sup>1</sup> European Telecommunication Standards Institute.

<sup>2</sup> International Telecommunication Union.

<sup>3</sup> Universal Mobile Telecommunication Systems.

<sup>4</sup> International Mobile Telecommunications by the year 2000.

<sup>5</sup> UMTS Terrestrial Radio Access - Time Division Duplex.

## DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema consiste en la imperfección de los circuitos osciladores que generan las señales portadoras en UTRA-TDD, lo cual ocasiona pérdidas de señal debidas a modulación o demodulación no ideal. Debido a consideraciones de costos, las desviaciones son más acentuadas en los osciladores de las estaciones terminales, puesto que están equipadas con cristales más económicos y menos exactos.

Las perturbaciones de frecuencia introducidas por los osciladores causan desviaciones de fase, lo que se constituye en un factor de rendimiento crítico en los sistemas de modulación por conmutación de fase (PSK), como en el caso de UTRA-TDD. Debido a que la fase de la portadora varía inesperadamente, el proceso de demodulación se verá afectado por dicha variación, lo que genera una degradación considerable en el proceso de recepción.

Para evitar la degradación del sistema es necesario realizar una estimación de las perturbaciones introducidas por los osciladores. Sin embargo, el principal inconveniente es que se desconoce cuál es la tendencia exacta de la variación de frecuencia en los osciladores, por lo cual se hace necesario asumir situaciones no ideales basadas en ciertos modelos conocidos de comportamiento en la frecuencia. Estos modelos pueden inferirse de las hojas de especificaciones de los fabricantes de osciladores para sistemas de comunicaciones.

## OBJETIVOS

- Establecer un modelo que describa la estabilidad de la frecuencia de oscilación de los cristales.
- Evaluar el impacto de las fluctuaciones en frecuencia causadas por los osciladores.
- Proponer un mecanismo de corrección en el receptor para la degradación causada.
- Caracterizar la estrategia de corrección mediante un diseño *software* y evaluarlo y validarlo mediante simulación por computador.

## LA ESTABILIDAD EN LOS OSCILADORES

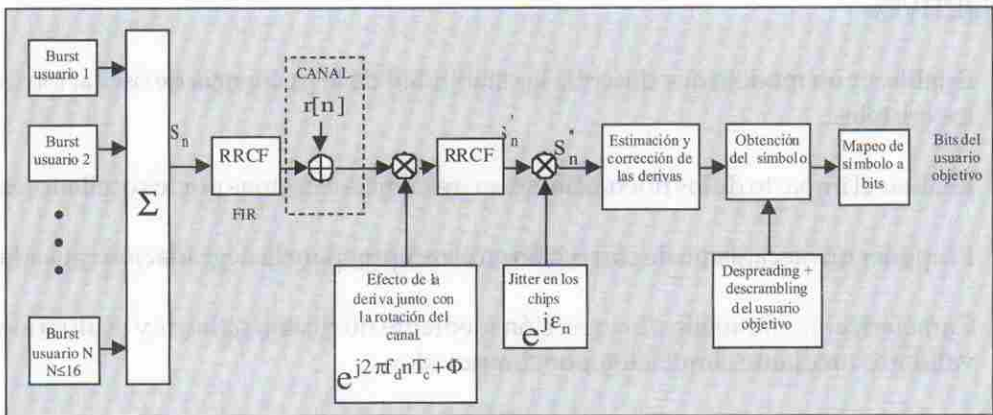
La *estabilidad* se refiere a la caracterización estadística de las fluctuaciones de frecuencia del oscilador sobre un intervalo dado de tiempo.

- **Estabilidad a corto plazo:** Está muy asociada con el término *jitter*, el cual se refiere a un conjunto de variaciones rápidas, inesperadas y repetitivas que afectan a las características en frecuencia de la señal generada por el oscilador. El *jitter* es aleatorio por naturaleza, y en este estudio se puede representar simplemente como un ruido de fase.
- **Estabilidad a largo plazo:** Se asocia al término «deriva» (*drift*), el cual se define como un cambio lento y progresivo en la frecuencia de un oscilador, y puede ser unidireccional o bidireccional. La deriva es causada principalmente por el envejecimiento del oscilador (*aging*) y por cambios en los factores ambientales. Este tipo de estabilidad se mide, por lo general, en partes por millón (ppm) con respecto a la frecuencia nominal del oscilador.

## DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

### Modelo banda base del *downlink*

El enlace descendente (*downlink*) es la sección de un sistema de telecomunicaciones que lleva la información desde una central administradora hasta un usuario en particular. En UTRA-TDD esta sección se presenta mediante un modelo en banda base del enlace desde la BS<sup>6</sup> hasta la TS<sup>7</sup>, tal como se aprecia en la figura 1.



**Figura 1.** Modelo discreto de simulación en banda base de la sección RF del sistema

<sup>6</sup> Base Station.

<sup>7</sup> Terminal Station.



Los datos (bits) del usuario se mapean en QPSK en dos bloques (I y II) de 69 símbolos cada uno, a los cuales se les realiza un proceso de *spreading* y de *scrambling* de acuerdo con la modulación CDMA de UTRA-TDD. La ráfaga de señal o *burst* resultante se conforma así: Bloque de datos I (1104 chips<sup>8</sup>), un *midamble* (secuencia de 256 chips conocida por el receptor), bloque de datos II (1104 chips) y un tiempo de guarda.

La adición de los *bursts* de varios usuarios del mismo *slot*<sup>9</sup> constituye la señal multiusuario que es modulada en RF para luego ser introducida por el canal, que en este proyecto se asumió AWGN<sup>10</sup>.

Cuando la señal llega a la TS se introducen los efectos debidos a las derivas en los osciladores de transmisión y recepción, mediante la rotación de la fase de los chips entrantes de acuerdo con las funciones envolventes complejas periódicas que tienen como argumento a  $f_d$  o frecuencia de deriva, correspondiente a la diferencia de frecuencias entre los osciladores de la BS y la TS (cuyos valores nominales son de 1.9 GHz), y a  $\epsilon_n$ , correspondiente al *jitter*. Por otro lado, se tienen dos filtros FIR de raíz de coseno alzado (RRCF), cuya función es la de conformación y recuperación del pulso transmitido.

Finalmente, continúan el bloque propuesto en este proyecto para la estimación y corrección de derivas sobre las zonas de datos del *burst* multiusuario y los procesos de demodulación de usuario, tales como: *despreading*, *descrambling* y mapeo de símbolos QPSK a bits.

### Establecimiento de un modelo matemático de derivas

Debido a que los dos principales agentes causantes del efecto de las derivas son la temperatura y el envejecimiento, se espera que dicho fenómeno siga un patrón de comportamiento consecuente con la tasa de cambio de dichos agentes. El envejecimiento introduce derivas del orden de pocas partes por millón anualmente. Por lo tanto, es un fenómeno lento y que puede ser asumido como una deriva constante en un tiempo de *burst* (666.66ms); asimismo, la temperatura se caracteriza por su tasa de cambio lenta en los modelos físicos generales.

Con base en lo anterior se establece un modelo matemático caracterizado por una deriva de frecuencia constante, lo que produce una función de fase lineal. Expresando

<sup>8</sup> Unidad básica de información en CDMA.

<sup>9</sup> Intervalo de tiempo característico de los sistemas TDD.

<sup>10</sup> *Additive White Gaussian Noise*.

la función de fase producida por la deriva de frecuencia  $f_d$  en términos de la desviación en ppm<sup>11</sup> del valor nominal resulta:

$$\delta_n = 2\pi f_c \text{ ppm } 10^{-6} n T_c + \Phi \quad (1)$$

donde  $T_c$  es el tiempo de chip y  $F$  es la rotación del canal<sup>12</sup>.

### Estimación de las derivas en la información recibida

La señal  $S''_n$  que ingresa al bloque de estimación y corrección de las derivas se puede representar como:

$$S''_n = (S_n + r_n) e^{j\delta_n + \epsilon_n} \quad (2)$$

donde  $S_n$  es la señal que corresponde al *burst* multiusuario del *downlink* y  $d_n$  a la función de deriva;  $r_n$  y  $\epsilon_n$  presentan características gaussianas y corresponden al ruido del canal y al *jitter*, respectivamente.

El efecto de la función de deriva propuesta se manifiesta en los chips de  $S_n$  como una rotación en su fase equivalente al valor de  $\delta_n$  evaluado en el  $n$ -ésimo chip. Como todos los chips sufren la misma rotación, es más cómodo afirmar que el efecto neto en banda base es la rotación plano fasorial I-Q de la señal  $S_n$ , lo que conduce a la representación de  $S''_n$ . Esta rotación se realiza en la dirección angular del argumento de la exponencial compleja de la expresión (2), y lo hace a un ritmo igual a su derivada respecto al tiempo. Debido a que los chips de  $S''_n$  se reciben con una fase desconocida, si se desea estimar la función  $\delta_n$  es preciso conocer un tramo de la información correspondiente al *burst* del usuario objetivo que se va a demodular. Por esta razón, el proceso de estimación se lleva a cabo durante los 256 chips del *midamble* multiusuario.

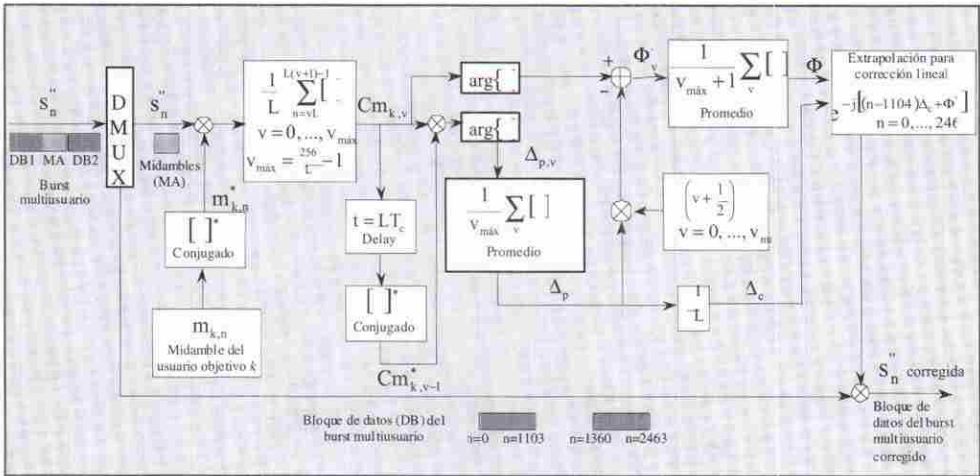
La figura 2 ilustra el modelo propuesto para la estimación y corrección del efecto de las derivas que se muestra en la figura 1.

El primer paso de la estimación es una correlación del código del *midamble* del usuario objetivo (información esperada) con el *midamble* multiusuario que se recibe, con objeto de producir una ganancia en la acumulación de la correlación y poder obtener los estimadores para  $f_d$  y  $\Phi$ , como son el incremento de fase entre chips  $D_c$  y la rotación promedio del canal calculada  $\Phi'$ . Esta correlación se lleva a cabo sobre grupos de chips del *midamble*, y cuya cantidad no puede ser inferior a 16, puesto que

<sup>11</sup> Partes por millón.

<sup>12</sup> Diferencia relativa de fase entre la señal que llega del transmisor y la portadora del oscilador del receptor.

la ganancia en el proceso sería inferior al número de usuarios interferentes, y esto compromete a la fidelidad de la información obtenida.



**Figura 2.** Diagrama específico de la estimación y corrección de los errores de fase debidos a los osciladores

Durante la zona de *midamble*  $n \in \{1104, \dots, 1359\}$ , la señal recibida  $S''_n$  multiusuario se puede representar como:

$$S''_n = \left[ \sum_{i=1}^N [m_{i,n}] + r_n \right] e^{j\hat{a}_n + j\hat{\alpha}_n}, N \leq 16 \quad (3)$$

donde  $m_{i,n}$  es el valor complejo del  $n$ -ésimo chip del *midamble* del  $i$ -ésimo usuario. Sólo esta parte del *burst* multiusuario se necesita para las estimaciones necesarias, ya que en las zonas de datos no hay tramos conocidos para ningún usuario, y es sobre estas zonas donde se aplica la corrección presentada al final del diagrama de la figura 2.

Seguidamente,  $Cm_{k,v}$  representa el valor complejo de la correlación durante la  $v$ -ésima parte de  $L$  chips del *midamble*  $m_k$  del usuario objetivo con el *midamble* multiusuario recibido, lo cual brinda cierta ganancia de proceso igual al valor de  $L$ :

$$Cm_{k,v} = \frac{1}{L} \sum_{n=L-v}^{L(v+1)-1} S''_n m_{k,n}^* \quad (4)$$

El símbolo \* denota el complejo conjugado. El valor  $Cm_{k,v}$  es uno de los parámetros más importantes en el proceso de estimación, ya que su magnitud está estrechamente ligada al grado de confianza de la información que brinda su fase respecto a  $f_d$  y  $\Phi$ .

Expresando los chips de los *midambles* en términos de su fase:  $m_{i,n}=e^{j\theta_{i,n}}$ , la sustitución de (3) en (4) resulta en:

$$\begin{aligned}
 Cm_{k,v} &= \frac{1}{L} \sum_{n=L \cdot v}^{L(v+1)-1} e^{j\hat{a}_n + \epsilon_n} \\
 &+ \frac{1}{L} \sum_{n=L \cdot v}^{L(v+1)-1} \left\{ \sum_{i=1, i \neq k}^N e^{j\tau_{i,n} - \tau_{k,n} + \hat{a}_n + \epsilon_n} \right\} \\
 &+ \frac{1}{L} \sum_{n=L \cdot v}^{L(v+1)-1} r_n e^{j\hat{a}_n + \hat{a}_n - \tau_{k,n}} \quad (5)
 \end{aligned}$$

El tercer término de (5) representa la participación del ruido del canal, que gracias a las propiedades estadísticas de  $r_n$ , la acumulación en L chips lo minimiza cuanto mayor es el valor de L. El segundo término representa la correlación cruzada en presencia de derivas entre el código del usuario objetivo k con el resto de N-1 usuarios del *slot*; en el caso de que los códigos de los *midambles* fueran perfectamente ortogonales en el intervalo L, la sumatoria resultaría en valor cero, salvo por el efecto de las derivas. Cabe mencionar que la ortogonalidad para dichos códigos no existe<sup>13</sup> en UTRA-TDD, por lo que se debe seleccionar un grupo adecuado de éstos para las simulaciones, ya que se podría marginar a ciertos usuarios al mismo tiempo que se privilegian a otros en todas las pruebas. En las pruebas realizadas en este proyecto, el grupo seleccionado permite que el segundo término de (5) pueda despreciarse. Así, el valor de  $Cm_{k,v}$  de (5) se aproxima al primer término en el cual se manifiesta la función de derivas que debe ser estimada. La fase resultante de  $Cm_{k,v}$  es:

$$\arg \{ Cm_{k,v} \} \approx 2\pi f_d L T_c \left( v + \frac{1}{2} \right) + \Phi \quad (6)$$

con la cual se pueden realizar las estimaciones deseadas. De acuerdo con el diagrama de figura 2, se tiene que la diferencia de fases promedio de dos  $Cm_k$  consecutivos es:

<sup>13</sup> 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP). *Cycling of cell parameters to improve path estimation*. TSGR1#7(99)c53. (1999).



$$\Delta_p = \frac{1}{v_{\max}} \sum_{v=1}^{v_{\max}} \left[ \arg\{C_{m_{k,v}}\} - \arg\{C_{m_{k,v-1}}\} \right], \quad v \geq 1 \quad (7)$$

con la cual se puede estimar el incremento de fase entre chips representado por  $\Delta_c$ :

$$\Delta_c = \frac{1}{L} \Delta_p \approx 2\pi f_d T_c \quad (8)$$

Dado que  $T_c$  es conocido (260.4 ns), es posible obtener el valor de  $f_d$  a partir de  $D_c$ , pero para fines prácticos se prefiere trabajar directamente con este último. Por otro lado, el valor de  $D_p$  se utiliza para estimar la rotación promedio  $F'$  del canal, como se observa en (9):

$$\Phi' = \frac{1}{v_{\max} + 1} \sum_{v=0}^{v_{\max}} \left[ \arg\{C_{m_{k,v}}\} - \left( v + \frac{1}{2} \right) \ddot{A}_p \right] \quad (9)$$

### Corrección sobre la zona de datos

Una vez se realizan las estimaciones necesarias, se toman los valores de  $D_c$  y  $F'$  para construir una función lineal de deriva que introduzca el efecto contrario a la estimada (supuesta), así:

$$\ddot{a}'_n = (n - 1104) \Delta_c + \Phi' \quad (10)$$

El procedimiento consiste en una extrapolación de esta función a las zonas de datos del *burst* multiusuario, con objeto de cancelar el efecto introducido por las derivas, tal como se ilustra en la figura 3.

De esta manera, la señal corregida se consigue así:

$$\begin{aligned} S''_{n \text{ corregida}} &= S''_n e^{-j\ddot{a}'_n} \\ &= S''_n e^{-j[(n-1104)\Delta_c + \Phi']} \end{aligned} \quad (11)$$

para  $n \in \{0, \dots, 1103\} \cup \{1360, \dots, 2463\}$ , correspondientes a los chips del bloque de datos I y II de la señal multiusuario detectada. Si se aceptan las estimaciones como totalmente correctas, se tiene que:

$$S''_{n \text{ corregida}} = |S''_n| e^{j(\hat{\theta}_n + \hat{\alpha}_n)} \quad (12)$$

donde  $\tau_n$  corresponde a la fase que contiene la información de los chips de las zonas de datos del *burst* multiusuario y  $\epsilon_n$  corresponde al *jitter*.

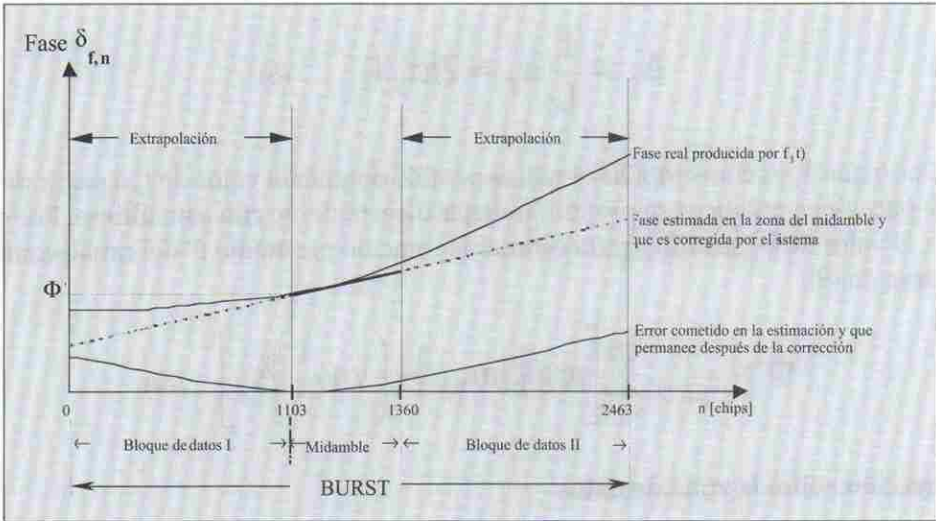


Figura 3. Comparación de una función de deriva real  $f_d(t)$  y la estimada por el sistema a través de  $F'$  y de  $D_c$

### Obtención de los datos de usuario

Finalmente, una vez se realiza la corrección, continúa la etapa de *despreading* y *descrambling* sobre la señal corregida. El proceso involucra una acumulación de 16 chips, lo que reduce un poco el *jitter* y produce un valor complejo correspondiente al símbolo QPSK, posteriormente se mapea a bits para obtener la información del usuario objetivo.

<sup>14</sup> Bit Error Rate.

## RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

Los siguientes resultados demuestran el funcionamiento del diseño propuesto. Se utiliza al dBW como unidad básica de potencia y al dB como unidad de relación. El intervalo de confianza para las pruebas de BER<sup>14</sup> cercanas a  $10^{-6}$  con certidumbre del 95%, se establece entre  $5 \times 10^{-7}$  y  $2 \times 10^{-6}$  cuando se simulan  $5 \times 10^6$  bits.

### Energía de $Cm_k$ sobre interferencia cuando se varía el número de usuarios

Cuando aumentan los usuarios interferentes en el *slot*, tal como se presenta en la figura 4, la relación  $Cm_k/I_0$  decae, lo cual revela la dificultad intrínseca a la interferencia adicional. Las diferentes curvas ilustran los casos de acumulación en cuatro distintas formas de fraccionamiento del *midamble* (256 chips en total), sujetas a un ruido de canal y *jitter* de  $-30$  dBW y  $10^6$  bits por punto de gráfica.

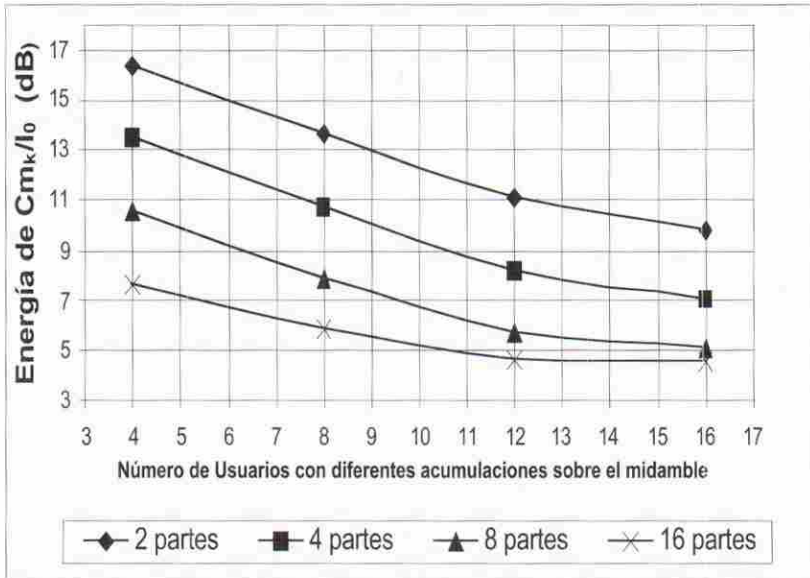


Figura 4. Energía de  $Cm_k/I_0$  cuando se varía el número de usuarios

### Energía de $Cm_k$ sobre interferencia cuando se varía el ruido

En la figura 5 se nota que la influencia del *jitter* es mucho más pronunciada que la del ruido del canal, lo cual hace descender el valor de  $Cm_k/I_0$  mucho más rápido cuando

el primero aumenta. La razón está ligada al hecho de que el *jitter* afecta a la fase exclusivamente, y esto es muy dañino en un sistema digital que utiliza modulación QPSK. La simulación utilizó  $10^6$  bits por punto de gráfica, una carga de 8 usuarios y el *midamble* se fraccionó en 4 partes de 64 chips.

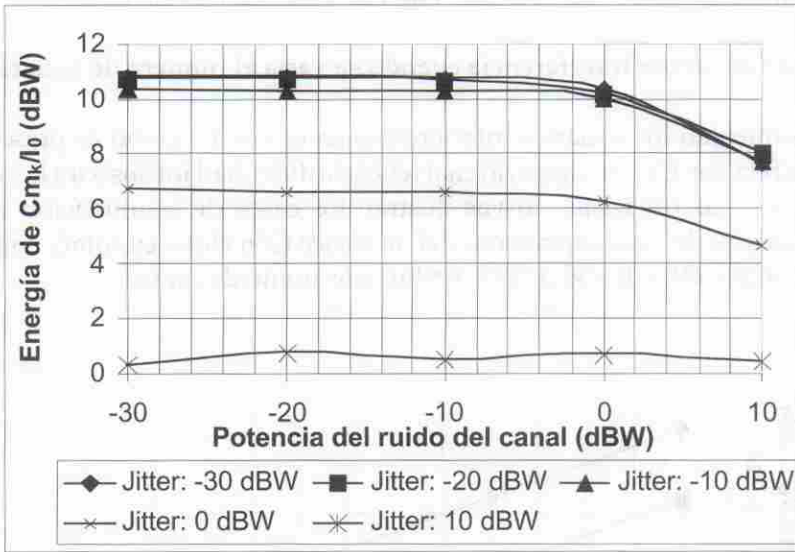


Figura 5. Energía de  $Cm_k/I_0$  cuando se varía el ruido del canal y el *jitter*

### Energía de $Cm_k$ sobre interferencia cuando hay derivas presentes

En la figura 6 se aprecia cómo decae el valor de la relación  $Cm_k/I_0$  cuando aumenta la deriva. Cabe anotar que la rotación  $\Phi$  del canal no influye en la relación de energía  $Cm_k/I_0$ , ya que sólo afecta a la fase de la misma; en cambio, la deriva puede causar severas disminuciones de su magnitud. La simulación se realizó con un ruido de  $-30\text{dBW}$ , un fraccionamiento del *midamble* en 4 partes, una rotación del canal de  $30^\circ$  y  $10^6$  bits por punto de gráfica.

### Medición de BER para diferentes condiciones de ruido

Se observa en la figura 7 que el ruido causa mayores errores en aquellas acumulaciones más bajas, como es el caso del fraccionamiento en 8 partes. La razón de la ventaja en las acumulaciones mayores radica en la propiedad de disminución del ruido debido a su distribución gaussiana, la cual permite alcanzar, para el caso del fraccio-



namiento en dos partes, un valor de  $Cm_k$  similar al teórico. La carga del *slot* fue de 8 usuarios y se simularon  $10^7$  bits por punto de gráfica.

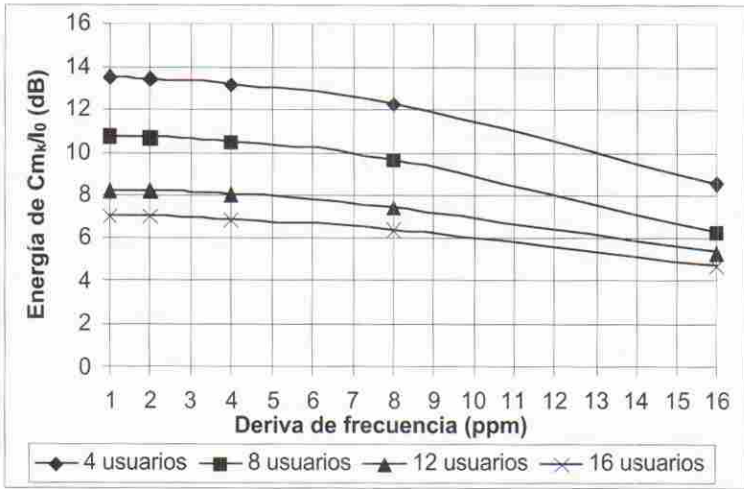


Figura 6. Energía de  $Cm_k/I_0$  cuando hay derivas presentes y el *midamble* se fracciona en 4 partes

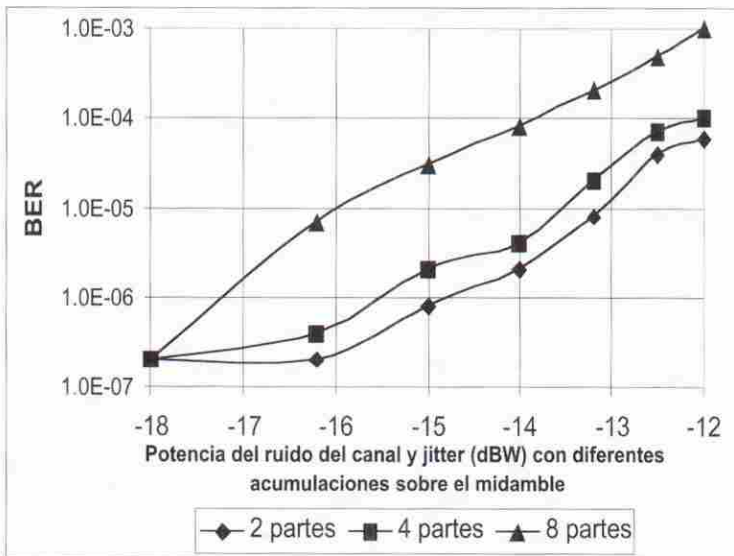


Figura 7. BER vs. Potencia del ruido del canal y *jitter*

### Tasa de bits errados cuando hay derivas lineales presentes en el proceso de recepción

En la figura 8 se nota que a medida que aumenta la deriva de los osciladores también lo hace el BER estimado para los casos evaluados. El caso de fraccionamiento del *midamble* en cuatro partes se destaca, ya que reúne buenas características de acumulación (64 chips), que le brindan una ganancia aceptable para las estimaciones, al tiempo que evita que la deriva ocasione que la fase de los chips acumulados gire una cantidad cercana o superior a  $2\pi$  (como en el caso de 128 chips), lo cual asegura la confiabilidad de la información obtenida. Sin embargo, dicha acumulación de cuatro partes es insuficiente para derivas superiores a 14 ppm. El resto de acumulaciones conduce a errores muy altos a partir de 5 ppm. Es preciso añadir que los sistemas que no emplean ningún tipo de compensación de derivas tienden a presentar tasas muy elevadas de errores para valores superiores a las 2 ppm. Los resultados de la figura 8 se obtuvieron con  $5 \times 10^6$  bits por punto de gráfica,  $-30\text{dBW}$  de ruido y una rotación del canal de  $30^\circ$ .

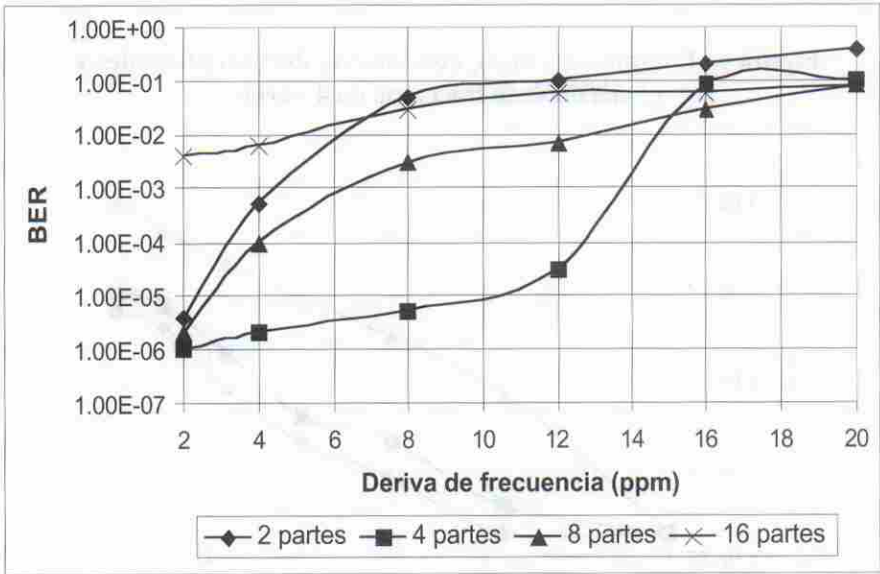


Figura 8. BER para diferentes derivas de frecuencia, con una carga de 12 usuarios

## CONCLUSIONES

Con base en el anterior estudio de las situaciones no ideales de un sistema UTRA-TDD correspondientes a las desviaciones de frecuencia de los osciladores entre la TS y la BS se concluye que en general:

- La tasas de bits errados disminuyen considerablemente para un sistema que emplea la corrección de las desviaciones de frecuencia causadas por las derivas de los osciladores con respecto a uno que no lo hace.
- El número más conveniente que se encontró para la acumulación del fraccionamiento del *midamble* fue 64 chips (4 partes). Este valor presenta una buena resistencia contra el ruido AWGN al tiempo que la tendencia de rotación de los chips no gira cerca de  $2\pi$  ( $2\pi_{pi}$ ).
- El efecto del *jitter*, que afecta centralmente a la fase de los chips recuperados, es considerablemente mayor que el del ruido del canal, debido a que el sistema de modulación empleado es por conmutación de fase (QPSK).
- Las medidas de energía del símbolo  $Cm_k/I_0$  disminuyen para cargas de usuarios mayores en el *slot*, y deja en la carga máxima (16 usuarios) un margen muy restringido de calidad, que depende de la potencia relativa del ruido respecto a la de los usuarios dentro del *slot*.

## RECOMENDACIONES

Con objeto de promover la continuidad de proyectos que apunten al modelo y desarrollo de diseños concernientes a situaciones no ideales en la transmisión y recepción de un sistema UTRA-TDD, se recomienda:

- Contemplar modelos de canal en los que se incluyan efectos como el multitrayecto, doppler y desvanecimiento, cuya incidencia en el modelo de corrección empleado en este proyecto no podía ser distinguido por su ubicación a nivel de fase de los chips.
- Estudiar la posibilidad de diseñar un sistema con memoria para un seguimiento trama a trama de las derivas más lentas, con objeto de realizar predicciones en las estimaciones de los *bursts*.
- Realizar un estudio profundo de las asignaciones de los *midambles* a los diferentes usuarios dentro un mismo *slot*, tratando de precisar para cuáles grupos de códigos

se consigue una mejor ortogonalidad y proponerlos como grupos preponderantes para que el sistema los administre y permita una mayor probabilidad de estimaciones correctas en las estaciones terminales.

### Bibliografía

- [1] CAMPANELLA, H. Unidad de adquisición para un receptor W-CDMA (UMTS) en modo de operación TDD/CDMA. Proyecto final de master, 1999. 41 p. Master en Sistemas y Redes de Comunicaciones, ETSI Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid.
- [2] VITERBI, A. *CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication Systems*. Menlo Park (CA), Addison-Wesley, 1995. 245 p.
- [3] HAYKIN, S. *Communication Systems*. 4<sup>th</sup> edition. New York, John Wiley & Sons, 2001. 216 p.
- [4] 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP). Technical Specification: Physical layer – General Description. 3G TS 25.201. June, 2000. URL: [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org).
- [5] 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP). Technical Specification: Spreading and Modulation (TDD). 3G TS 25.223. June, 2000. URL: [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org).