

**ESTUDIO DE UN MODELO DE PLANEACIÓN Y DISEÑO PARA LA MIGRACIÓN DE
LA RED TELEFÓNICA MÓVIL CELULAR COLOMBIANA HACIA UNA RED
TELEFÓNICA MÓVIL CELULAR DIGITAL CON TÉCNICA DE ACCESO CDMA**



ANEXOS

**FABIO ERNESTO SANDOVAL ALEGRIA
MARIA CRISTINA VARGAS SANCHEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TRANSMISION
POPAYÁN
2002**

**ESTUDIO DE UN MODELO DE PLANEACIÓN Y DISEÑO PARA LA MIGRACIÓN DE
LA RED TELEFÓNICA MÓVIL CELULAR COLOMBIANA HACIA UNA RED
TELEFÓNICA MÓVIL CELULAR DIGITAL CON TÉCNICA DE ACCESO CDMA**

ANEXOS

**FABIO ERNESTO SANDOVAL ALEGRIA
MARIA CRISTINA VARGAS SANCHEZ**

**Tesis de grado presentada como requisito para obtener el título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones**

**Director
Mag. ALDEMAR HOLGUIN ROJAS**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TRANSMISION
POPAYÁN
2002**

ANEXO A. CODIGOS DE WALSH

1.1 CODIGOS DE Walsh

El código Walsh es una secuencia **PN** (Pseudo-ruidosa) debido a sus propiedades aleatorias. Para que una secuencia PN se considere código Walsh es necesario que sea ortogonal.

Los códigos Walsh se utilizan en telefonía celular CDMA. Solamente unas secuencias PN se utilizan para comunicaciones celulares:

- Con propiedades de correlación cruzada (cross-correlation) cero, ya que son ortogonales.
- Un código PN de n bits tiene $2^n - 1$ secuencias PN.
- Únicamente n códigos son ortogonales.
- Se utilizan para realizar el ensanche y desensanche de señal.

La primera propuesta para desarrollar códigos ortogonales fue desarrollada por Rademacher en 1922 y se muestran a continuación:

Sec 0...0 1 0 1 0 1 0 1...0 1 0 1 0 1 0 1

Sec 1...0 0 1 1 0 0 1 1...0 0 1 1 0 0 1 1

Sec 2...0 0 0 0 1 1 1 1...0 0 0 0 1 1 1 1

Sec 3...0 0 0 0 0 0 0 0...1 1 1 1 1 1 1 1

Se puede observar que de 16 bits sólo se generan 4 secuencias ortogonales, no son 16 como se menciona. Esto se debe a que este método es el predecesor del código desarrollado en 1923 por J.L. Walsh.

J.L. Walsh introdujo un bloque completo de códigos ortogonales, basados en arreglar de nuevo el código Rademacher. A los códigos que se generan con su método se les conoce como Código Walsh.

Para telefonía celular se utilizan un código Walsh de 64 bits:

- Un código PN de n bits tiene $2^n - 1$ secuencias PN.
- Las que tienen correlación cruzada (cross-correlation) igual a cero.

- Dentro de esas secuencias PN solo n códigos son ortogonales.
- Un código PN de 64 bits tiene 1.8447×10^{19} secuencias PN.
- Solo 64 de ellas son códigos ortogonales.
- Por esta razón, son usados en DS-CDMA.

Ejemplo.

$m = 64$ (IS-95 CDMA) = $2^{64} - 1 = 1.8447 \times 10^{19}$ número de secuencias PN. Dentro de 1.8447×10^{19} secuencias PN, solo 64 de ellas son códigos ortogonales. n códigos son ortogonales, significa, teóricamente, n usuarios por portadora.

1.2 SECUENCIAS PN

Las secuencias de Pseudo-ruidosas (PN) son utilizadas en los sistemas de comunicaciones digitales debido a sus propiedades determinísticas. Para generar las secuencias PN se utiliza un registro de corrimiento con retroalimentación.

Ejemplo:

Generar una secuencia PN = 7 con 3 bits

Suma MOD2.....

(REG1 + REG2) REG1 REG1

1.....1.....1.....1
2.....0.....1.....1
3.....0.....0.....1
4.....1.....0.....0
5.....0.....1.....0
6.....1.....0.....1
7.....1.....1.....0
1.....1.....1.....1

El número de retroalimentaciones depende del tipo de función y de la longitud del registro. Las secuencias aleatorias que se pueden generar con un registro de m bits son:

$$N = 2^m - 1$$

Dependiendo del número de bits, es el número de secuencias PN. Sin embargo muy pocas secuencias son ortogonales. Del ejemplo anterior podemos observar que hay n secuencias PN, sin embargo únicamente m son ortogonales.

Por ejemplo, para 64 bits se obtiene $N = 2^{64} - 1$ secuencias PN, es decir 18.446744×10^{18} secuencias, de las cuales sólo 64 son ortogonales.

1.2.1 Propiedades de los códigos PN

- Una secuencia PN multiplicada por un 0 binario produce el mismo código PN. 0-bin EXOR código PN = código PN.
 $00000000 \text{ EXOR } 00110011 = 00110011.$
- Una secuencia PN multiplicada por un 1 binario produce el código inverso, también conocido como "código antipodal". 1-bin EXOR código PN = código PN inverso ó antipodal, o bien, el antipodal se obtiene haciendo el complemento de la secuencia
 $11111111 \text{ EXOR } 00110011 = 11001100.$
- Una secuencia PN multiplicada por el mismo código PN produce ceros. Código PN EXOR código PN = 0.
 $00110011 \text{ EXOR } 00110011 = 00000000$
- Una secuencia PN multiplicada por el código inverso ó antipodal, produce unos. Código PN EXOR código antipodal = 1.
 $00110011 \text{ EXOR } 11001100 = 11111111$

1.3 CÓDIGOS ORTOGONALES

Como se menciona anteriormente los códigos Walsh tienen que ser ortogonales. Por tal motivo tienen que cumplir con las propiedades que se mencionan a continuación.

- Los códigos ortogonales son números binarios (2^n).
- Tienen igual número de ceros que de unos (excepto el código 0 el cual siempre son ceros y su antipodal que son unos).
- La correlación cruzada (cross-correlation) es cero.

Un par de código:

X_1, X_2, \dots, X_n

Y_1, Y_2, \dots, Y_n

Donde la correlación cruzada está dada por:

$$R_{xy}(0) =$$

Sí $x: x_1, x_2, \dots, x_m$ y y_1, y_2, \dots, y_m son códigos de m bits

Para obtener la correlación cruzada todos los ceros son remplazados por -1 , se multiplican y posteriormente se suma el resultado.

Ejemplo 1 de código ortogonal.

$$x = 0011$$

$y = 0110$ igual número de 1's y de 0's para x y y .

$$\begin{array}{r} -1 \ -1 \ 1 \ 1 \\ \hline -1 \ 1 \ 1 \ -1 \end{array}$$

$$R_{xy} = 1 - 1 + 1 - 1 = 0$$

$$R_{xy} = 1 - 1 + 1 - 1 = 0$$

El resultado es 0 por lo tanto los códigos son ortogonales.

Ejemplo 2 de código no ortogonal.

$$x = 0011$$

$y = 1100$ igual número de 1's y de 0's para x y y .

$$\begin{array}{r} -1 \ -1 \ 1 \ 1 \\ \hline 1 \ 1 \ -1 \ -1 \end{array}$$

$$R_{xy} = -1 - 1 - 1 - 1 = -4$$

$$R_{xy} = -1 - 1 - 1 - 1 = -4$$

Aunque cumple con un requisito el resultado es -4 por lo tanto los códigos no son ortogonales.

Las dos características principales son:

- Tienen igual número de ceros que de unos. Si la correlación cruzada es cero.
- Si cumple con dichas características la secuencia PN se considera un código Ortogonal.

1.4 GENERACIÓN DE LOS CÓDIGOS WALSH

1.4.1 Generación de Código Ortogonal Corto.

Para generar los códigos Walsh es necesario hacer los siguientes pasos.

- 1 - Dividir la matriz de $N \times N$ en 4 cuadrantes.
- 2 - Hacer iguales el 1º, 2º y 3º cuadrante e invertir el 4º.

b = bit - 0 ó 1 lógico.

Código ortogonal C0 = 0 0

C1 = 0 1

Todo código ortogonal y no ortogonal tiene su antipodal, que es el complemento del anterior.

Código antipodal C0 = 1 1

C1 = 1 0

Matriz de $N \times N$

C0- 1 cuadrante 2 cuadrante b--b

C1- 3 cuadrante 4 cuadrante b-inv b

Matriz de 2×2

---Ortogonal Antipodal

C0---0 1-----1 0

C1---0 1-----1 0

1.4.2 Generación de códigos ortogonales largos.

- Código ortogonal corto 2×2 .
- Se genera una matriz de 4×4 repitiendo la de 2×2 (recursivo).
- Se genera una matriz de 8×8 repitiendo la de 4×4 , y así sucesivamente para matriz de $N \times N$.
- El complemento de la matriz para los códigos antipodales.

Como se menciona anteriormente este proceso fue desarrollado por J. L. Walsh en 1923 conocido como código Walsh código Hadamard.

Matriz de 4×4

----Ortogonal Antipodal

C0---0 0 0 0 1 1 1 1

C1---0 1 0 1 1 0 1 0

C2---0 0 1 1 1 1 0 0

C3---0 1 1 0 1 0 0 1

Con 4 bits se generan 3 códigos ortogonales. Por la siguiente ecuación:

$$N = 2^m - 1$$

donde hay m bits y se generan N códigos ortogonales.

1.5 USO DE LOS CÓDIGOS WALSH

El código Walsh se usa en comunicaciones celulares, en específico en CDMA (IS-95). En CDMA se usa el código Walsh principalmente para realizar el ensanche y desensanche del espectro. Esto es la base de CDMA, asimismo para diferenciar un usuario de otro. Debido a que en CDMA no hay reuso de frecuencias y en lugar de asignar una portadora por usuarios se asigna un código a cada usuario.

Hay tres tipos diferentes de códigos PN usados en IS-95 CDMA.

- Código de walsh
- Código PN largo
- Código PN corto

1.5.1 Código de Walsh

Usado para el enlace delantero a través de una banda de 1.2288MHz. Con una longitud de 64 bits, 64 códigos ortogonales, con una velocidad del código = 1.2288Mb/s. Para el identificador de los móviles se asigna un código Walsh diferente por cada usuario. W0 = código Walsh 0, usado en el canal piloto. W1-W7 = usado en los canales de Paging (7 canales). W32 = usado en el canal de sincronización. W8-W31 y W33-W63 = usados en los canales de tráfico.

1.5.2 Código PN largo

Con una longitud de 42 bits, $2^{42}-1=4.398 \times 10^{12}$ códigos PN y una velocidad del código = 1.2288Mb/s. Usado para el canal de reversa.

1.5.3 Código PN corto

- Longitud de 15 bits, $2^{15}-1=32767$ códigos PN y una velocidad del código = 1.2288Mb/s.
- Usado para la identificación de la celda en el reuso de celdas.

El número de usuarios idealmente es de 64 por portadora. Sin embargo los códigos utilizados en Forward Link quedan 55 canales para el tráfico. Cada usuario contribuye con ruido al sistema, por lo que el número de usuarios que pueden compartir el mismo ancho de banda es limitado.

1.6 CONCEPTO DS-CDMA

En el tx:

D = datos de baja velocidad a tx.

C = código PN de alta velocidad.

Y = D EXOR C.

En el rx:

Y = datos recibidos de alta velocidad.

C = el mismo código PN.

D = Y EXOR C.

Ejemplo del funcionamiento del sistema con multiusuarios es:

- Usuario 1.
Tx de datos -- D1 = 0000 0000
Código Walsh del usuario 1 -- C1 = 0011 0011
Transmisión del usuario 1-- Y1 = D1 EXOR C1 = **0011 0011**
- Usuario 2.
Tx de datos -- D2 = 0000 0000
Código Walsh del usuario 2 -- C2 = 0000 1111
Transmisión del usuario 2 -- Y2 = D2 EXOR C2 = **0000 1111**
- Usuario 3.
Tx de datos -- D3 = **0000 0000**
Código Walsh del usuario 2 -- C3 = **1100 1100**
Transmisión del usuario 2 -- Y3 = D3 EXOR C3 = **1100 1100**

Rx de datos del usuario 1 de la Tx del usuario 1 -- D1 = Y1 EXOR C1 = 0011 0011 EXOR 00110011 = **0000 0000** (dato válido).

Rx de datos del usuario 1 de la Tx del usuario 2 -- $D_2 = Y_2 \text{ EXOR } C_1 = 0000\ 1111 \text{ EXOR } 00110011 = \mathbf{0011\ 1100}$ (ruido).

Rx de datos del usuario 1 de la Tx del usuario 3 -- $D_3 = Y_3 \text{ EXOR } C_1 = 1111\ 1111 \text{ EXOR } 00110011 = \mathbf{1111\ 1111}$ (dato no válido).

Los otros usuarios que no tienen el mismo código aparecen como ruido en la señal deseada.

Si se utiliza el código antipodal de otro, se envía un dato válido. Como se ha mencionado se utilizan códigos ortogonales, pero un código Walsh y su Antipodal no son ortogonales, por lo que este caso nunca se dará.

1.7 CÓDIGO WALSH 64 BITS UTILIZADO EN CDMA

```
..0123456701234567012345670123456701234567012345670123
456701234567
W0 00000000000000000000000000000000000000000000000000000
00000000000000
W1 010101010101010101010101010101010101010101010101010
101010101010101
W2 001100110011001100110011001100110011001100110011001
1001100110011
W3 011001100110011001100110011001100110011001100110011
0011001100110
W4 000011110000111100001111000011110000111100001111000
0111100001111
W5 010110100101101001011010010110100101101001011010010
1101001011010
W6 001111000011110000111100001111000011110000111100001
1110000111100
W7 011010010110100101101001011010010110100101101001011
0100101101001
..0123456701234567012345670123456701234567012345670123
456701234567
W8 000000001111111100000000111111110000000011111111000
0000011111111
W9 010101011010101001010101101010100101010110101010010
101011010101010
```

W10 00110011110011000011001111001100001100111100110000
11001111001100

W11 01100110100110010110011010011001011001101001100101
10011010011001

W12 00001111111100000000111111110000000011111111000000
00111111110000

W13 01011010101001010101101010100101010110101010010101
01101010100101

W14 00111100110000110011110011000011001111001100001100
11110011000011

W15 01101001100101100110100110010110011010011001011001
10100110010110

...0123456701234567012345670123456701234567012345670123
456701234567

W16 00000000000000001111111111111111000000000000000011
11111111111111

W17 01010101010101011010101010101010100101010101010110
10101010101010

W18 00110011001100111100110011001100001100110011001111
00110011001100

W19 01100110011001101001100110011001011001100110011010
01100110011001

W20 000011110000111111111000011110000000011110000111111
11000011110000

W21 01011010010110101010010110100101010110100101101010
10010110100101

W22 00111100001111001100001111000011001111000011110011
00001111000011

W23 01101001011010011001011010010110011010010110100110
01011010010110

...0123456701234567012345670123456701234567012345670123
456701234567

W24 00000000111111111111111100000000000000001111111111
1111110000000

W25 0101010110101010101010100101010101010101010101010
10101001010101

W42 00110011110011000011001111001100110011000011001111
00110000110011

W43 01100110100110010110011010011001100110010110011010
01100101100110

W44 00001111111100000000111111110000111100000000111111
11000000001111

W45 01011010101001010101101010100101101001010101101010
10010101011010

W46 00111100110000110011110011000011110000110011110011
00001100111100

W47 01101001100101100110100110010110100101100110100110
01011001101001

...0123456701234567012345670123456701234567012345670123
456701234567

W48 0000000000000000111111111111111111111111111111111100
00000000000000

W49 0101010101010101011010101010101010101010101010101001
01010101010101

W50 00110011001100111100110011001100110011001100110000
11001100110011

W51 01100110011001101001100110011001100110011001100101
10011001100110

W52 00001111000011111111000011110000111100001111000000
00111100001111

W53 01011010010110101010010110100101101001011010010101
01101001011010

W54 00111100001111001100001111000011110000111100001100
11110000111100

W55 01101001011010011001011010010110100101101001011001
10100101101001

...0123456701234567012345670123456701234567012345670123
456701234567

W56 00000000111111111111111100000000111111110000000000
00000011111111

W57 01010101101010101010101001010101101010100101010101
01010110101010

W58 00110011110011001100110000110011110011000011001100
11001111001100

W59 01100110100110011001100101100110100110010110011001
10011010011001

W60 000011111110000111100000000111111100000000111100
00111111110000

W61 01011010101001011010010101011010101001010101101001
01101010100101

W62 00111100110000111100001100111100110000110011110000
11110011000011

W63 01101001100101101001011001101001100101100110100101
10100110010110

ANEXO B. INGENIERIA DE TRAFICO

2.1 INTRODUCCION

Para sistemas celulares y de PCS, la ingeniería de tráfico es el proceso de aprovisionar circuitos de comunicación para una área determinada. Para un Grado de servicio deseado, el ingeniero de tráfico predice el número de circuitos necesarios para satisfacer la demanda de tráfico dada. Los circuitos de comunicación se proveen a nivel de estación base. Aunque la ingeniería de tráfico se aplica para proveer circuitos más allá de la estación base (p.e., a niveles de conmutación e interconectividad), aquí nos centraremos en la ingeniería de tráfico al nivel de estación base. Como un ejemplo, la figura 1 muestra una estación base AMPS que tiene un patrón de cobertura omnidireccional. La estación base cubre una autopista principal y un centro comercial, y cuenta con 20 canales instalados.

Dado que hay 20 canales, es intuitivo ver que la demanda de tráfico de esta celda está relacionada directamente a la probabilidad de bloqueando de la celda. Si hay más demanda, entonces las llamadas tienen probabilidades más altas de ser bloqueadas debido a que no se encuentren canales disponibles. Si hay menos demanda, entonces las llamadas tienen probabilidades más bajas de ser bloqueadas.

Supongamos que la estación base actualmente tiene una proporción de bloqueo muy alta; entonces para reducir esta proporción, se deben instalar más canales en la estación base.

Este anexo presenta los aspectos fundamentales de ingeniería de tráfico relacionados con un sistema CDMA. Primero miramos los conceptos tradicionales de ingeniería de tráfico celular. Después, describimos criterios de ingeniería de tráfico adicionales que deben ser considerados para un sistema CDMA.

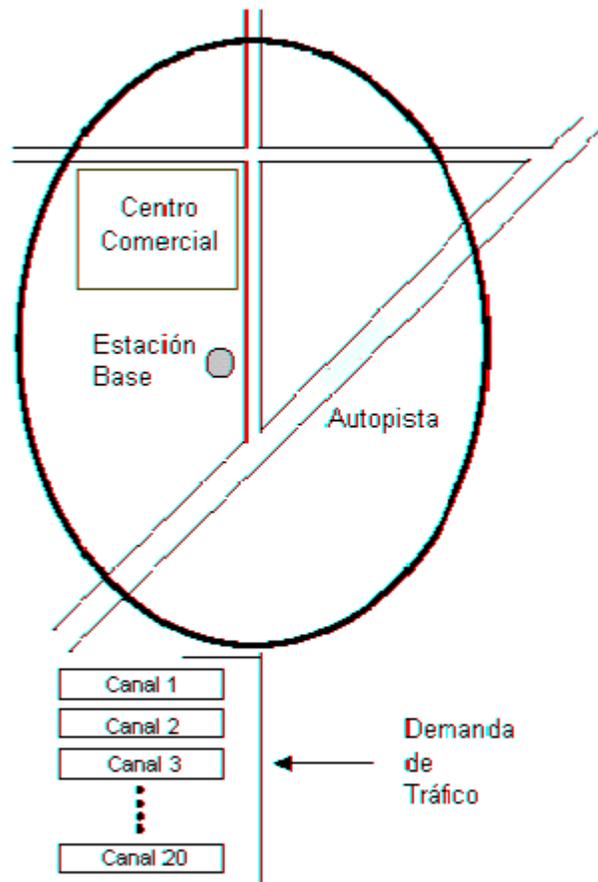


Figura 1. Estación Base Omnidireccional AMPS con 20 canales

2.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

2.2.1 Intensidad de tráfico

Antes de empezar a hablar sobre tráfico, debemos definir primero la unidad de medida para este. El tráfico es medido en términos de intensidad de tráfico. La intensidad de tráfico es normalmente medida en Erlang.

Un Erlang se define como el número promedio de llamadas simultaneas. Por ejemplo, asumimos que la estación base (mostrada en la Figura 1) registra el número de llamadas activas en un segundo y segundo a segundo; la tabla 1 muestra tal registro en un intervalo de 10 seg.

En este caso, la intensidad de tráfico (el número promedio de llamadas simultáneas) es :

$$\frac{(14\text{Llamadas})(2\text{seg}) + (13\text{Llamadas})(4\text{seg}) + (12\text{Llamadas})(2\text{seg}) + (15\text{Llamadas})(2\text{seg})}{10\text{seg}} =$$

13.4Erlangs

Tabla 1. Registro hipotético del número de llamadas activas

08:00:01	14 Llamadas
08:00:02	14Llamadas
08:00:03	13 Llamadas
08:00:04	13 Llamadas
08:00:05	13 Llamadas
08:00:06	13 Llamadas
08:00:07	12 Llamadas
08:00:08	12 Llamadas
08:00:09	15 Llamadas
08:00:10	15 Llamadas

Podemos notar que el numerador es el uso total durante este intervalo de medida (p.e., 10 seg.), y que el uso total durante este intervalo de medida es 134 sec. Por consiguiente, una definición equivalente de Erlang es el uso total durante un intervalo de tiempo dividido por el intervalo de tiempo.

La mayoría los sistemas de gestión no miden el número de llamadas con una base de segundo a segundo. Hacer esto, requeriría más tiempo de procesamiento y memoria. Así, la mayoría de los sistemas de gestión de red miden usando intervalos de 1 hora. Por ejemplo, si la misma estación base registra un uso total de 72,000 seg. (1,200 min.) entre 8:00 A.M. y 9:00 A.M., entonces la intensidad de tráfico es :

$$72000\text{seg} / 3600 \text{ seg} = 20 \text{ Erlangs} \text{ o } 1200\text{min} / 60 \text{ min} = 20 \text{ Erlangs}$$

Debido a que la mayoría de las medidas de los sistemas de gestión de red usan intervalos de una hora, un Erlang algunas veces se refiere a 60 minutos o 1 hora de uso.

2.2.2 Cargas

Anteriormente, nos referimos brevemente a la demanda de tráfico como algún requerimiento de tráfico dado por los usuarios en una celda. En realidad, esta demanda no puede medirse directamente, sólo puede ser estimada indirectamente. Lo que podemos medir directamente es la

carga que lleva una estación base. Por ejemplo, en el ejemplo mostrado en 2.2.1, la estación base registró una intensidad de tráfico real de 20 Erlangs entre 8:00 A.M. y 9:00 A.M. Así que, durante este intervalo de tiempo, la estación base tiene una carga transportada de 20 Erlangs. La demanda de tráfico, o carga ofrecida, durante el mismo intervalo de tiempo puede ser estimada por las siguientes ecuaciones (ver ecuación 1 y 2):

$$\text{Carga transportada} = (\text{Carga ofrecida}) \cdot (1 - \text{Tasa de bloqueo}) \quad \text{Ec. 1.}$$

O

$$\text{Carga ofrecida} = (\text{Carga transportada}) \cdot (1 - \text{Tasa de bloqueo}) \quad \text{Ec. 2.}$$

La carga ofrecida es la cantidad de carga de tráfico ofrecida por los usuarios a la red, mientras la carga transportada es la cantidad de carga de tráfico transportada actualmente por la red. En otras palabras, la carga transportada es el resultado de la carga ofrecida (demanda) reducida por el bloqueo. Los sistemas de gestión de red típicamente miden la tasa de bloqueo para cada estación base en el sistema.

2.2.3 Grado de servicio

Distingamos entre la proporción de bloqueo y la probabilidad de bloqueo. Aquí, la proporción de bloqueo se define como una cantidad medida por una estación base en particular. Por otro lado, la probabilidad de bloqueo es la probabilidad de que una llamada sea bloqueada debido a que no hay ningún canal disponible; esta probabilidad es una función de la carga ofrecida deseada y el número de canales, y la probabilidad puede ser evaluada usando algún modelo matemático (Erlang B, Erlang C). Como se mencionó anteriormente, para un número fijo de canales, como la carga ofrecida (demanda) aumenta, la probabilidad de bloqueo también aumenta. El término probabilidad de bloqueo se usa a menudo con el de grado de servicio.

La probabilidad de bloqueo se evalúa típicamente por la carga ofrecida durante la hora ocupada. Para una estación base, la hora ocupada se define como la hora durante la cual ocurre la carga transportada más alta. La Figura 2 muestra una carga transportada típica para una estación base como una función del tiempo. Como podemos ver, la carga transportada el jueves es más alta que la del lunes. Debido a que queremos asegurar que la tasa de bloqueo deseada se mantenga durante el tiempo de ocupación así como durante el tiempo de no-ocupación, los canales se aprovisionan durante la hora ocupada, es decir que se debe trabajar con los datos de la hora pico. Erlang-B y Erlang-C son dos modelos matemáticos ampliamente usados que describen la relación entre el grado de servicio, la carga ofrecida (demanda), y el número de canales. Los modelos difieren uno de otro en lo que asumen. Examinaremos los modelos de Erlang-B y Erlang-C.

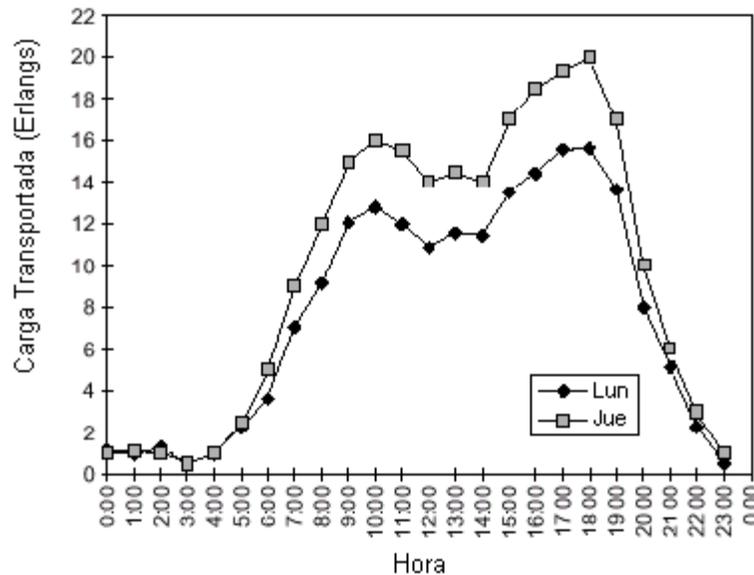


Figura 2. Distribución típica durante un día

2.3 MODELOS PARA ANALISIS DE TRAFICO

2.3.1 Modelo Erlang-B

Erlang-B asume que las llamadas bloqueadas se anulan y que la persona que llama intenta de nuevo después. En otras palabras, la persona cuya llamada no tiene respuesta o se bloquea no vuelve a hacer inmediatamente la llamada. La probabilidad de bloqueo $P(\text{bloqueo})$, o grado de servicio, según el modelo de Erlang-B, se da por la ecuación 3.

$$P(\text{bloqueo}) = \frac{\frac{\rho^C}{C!}}{\sum_{i=0}^C \frac{\rho^i}{i!}} \text{ Ec. 3.}$$

donde C es el número de canales y ρ es la carga ofrecida. La figura 3 muestra la relación entre la carga ofrecida y el número de canales para tres probabilidades de bloqueo diferentes. Como podemos ver, a mayor número de canales, mayor carga ofrecida que una estación base puede manejar para una probabilidad de bloqueo (o grado de servicio) deseada.

Algunas cosas importantes que se asumieron para obtener (Ec. 3) son las siguientes:

- El sistema está en equilibrio estático.
- La carga ofrecida es conocida.
- Las llamadas llegan de acuerdo al procedimiento de Poisson. Esto implica que el tiempo entre llegadas de llamadas es exponencialmente distribuido. Para que esto sea estrictamente cierto, un usuario cuya llamada haya sido bloqueada no puede reintentar inmediatamente.
- El tiempo de servicio de llamada es distribuido exponencialmente.

Basados en las dos últimas suposiciones, la carga ofrecida puede ser escrita así:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad \text{Ec. 4.}$$

Donde λ es la proporción de llegada de Poisson de λ llamadas/segundo, y $(1/\mu)$ es el tiempo de servicio de llamada exponencial de $(1/\mu)$ segundos/llamada.

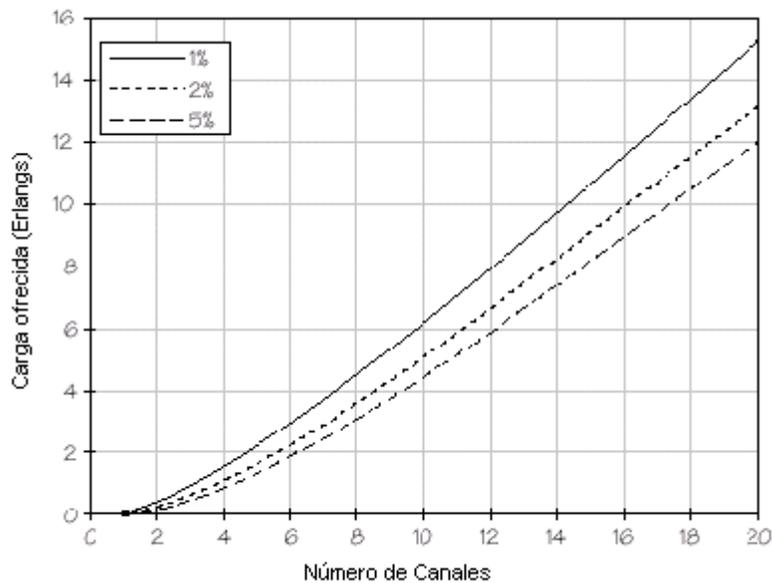


Figura 3. Erlang B

2.3.2 Modelo Erlang-C

A veces, un usuario cuya llamada se bloquea continúa reoriginandola hasta que esta sea cursada. Erlang-C asume que las llamadas bloqueadas se reintentan hasta que la llamada se establece. Erlang-C modela tales reintentos como una cola (p.e., las llamadas que se bloquean no se pierden, sino que se retrasan hasta que haya canales disponibles). La probabilidad de bloqueo según

Erlang-C es así equivalente a la probabilidad que la llamada sea retardada, o probabilidad de retraso $P(\text{retraso})$. Esta probabilidad se da por:

$$P(\text{retraso}) = \frac{\frac{\rho^C}{C!}}{\frac{\rho^C}{C!} + \left(1 - \frac{\rho}{C}\right) \sum_{i=0}^{C-1} \frac{\rho^i}{i!}} \quad \text{Ec. 5.}$$

Donde C es el número de canales y ρ es la carga ofrecida. La Figura 4 muestra la relación entre la carga ofrecida y el número de canales para tres probabilidades de retraso diferentes.

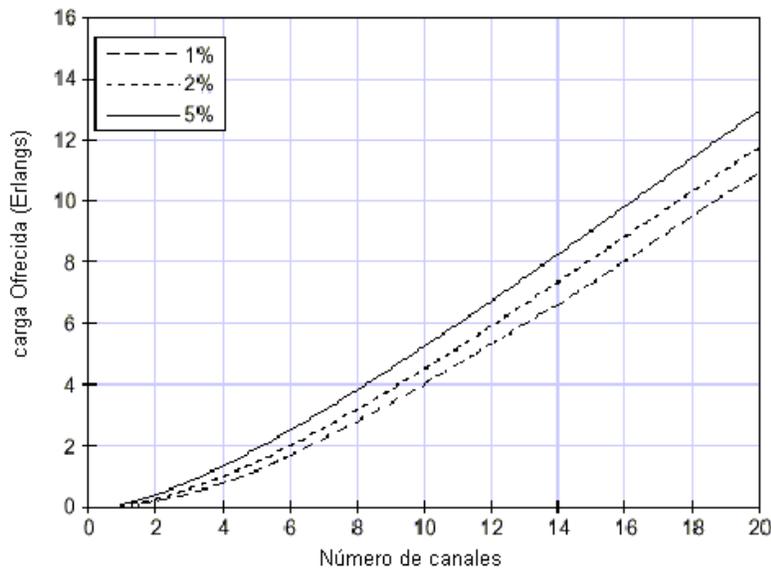


Figura 4. Erlang B

Como podemos ver de las Figuras 3 y 4, Erlang-C pone una demanda más severa en la provisión de un circuito. En consecuencia, Erlang-C requiere más canales que Erlang-B para obtener una carga ofrecida y una probabilidad de bloqueo dadas.

2.4 APLICACIONES CDMA

Una estación base analógica bloquea llamadas cuando no hay ningún canal disponible. Esta forma de bloqueo se llama bloqueo duro (hard blocking). Sin embargo, existe otra condición de bloqueo para una estación base CDMA. A diferencia de AMPS y TDMA, CDMA no impone un límite definido

en el bloqueo. A medida que aumenta el número de usuarios en un sistema CDMA, aumenta también el nivel de interferencia, y este aumento en la interferencia afecta la calidad de servicio negativamente. Debido a que todos los usuarios comparten el mismo espectro de RF, el aumento de la interferencia contribuye a un FER (Proporción de error de trama) más alto y un más alto porcentaje de llamadas caídas. En este caso, el bloqueo es suave porque el número de usuarios puede aumentarse si el proveedor de servicio está dispuesto a tolerar un nivel más alto de interferencia y una calidad más baja de servicio. El bloqueo suave es una característica del sistema CDMA. Por consiguiente, existen dos situaciones de bloqueo para una estación base CDMA:

Pueden haber canales suficientes disponibles en una estación base, pero ya que hay muchos usuarios en la misma celda, intentando llamar, el nivel de interferencia es tal que agregar un usuario adicional aumentarían la interferencia sobre un umbral predeterminado. La llamada es entonces negada. Ésta es la situación de bloqueo suave.

Una llamada puede tener una calidad excelente, pero si no hay ningún canal disponible en la estación base, la llamada es bloqueada. Ésta es la situación de bloqueo fuerte (hard-blocking). Describimos cada uno de las dos condiciones de bloqueo en las siguientes dos secciones.

2.4.1 Bloqueo suave

Consideramos la condición de bloqueo suave en el enlace inverso dado que este enlace es a menudo el enlace limitado en términos de capacidad. Asumimos que hay un número suficiente de canales instalados en la estación base, para que la probabilidad de bloqueo duro (Hard Blocking) sea la deseada.

Primero describimos un modelo simplificado de bloqueo suave, y entonces describimos un modelo más sofisticado. Se usan tres suposiciones para simplificar el modelo:

1. Hay un número constante de usuarios M en la celda.
2. Hay perfecto control de potencia.
3. Cada usuario requiere el mismo E_b / I_0 .

El bloqueo suave ocurre cuando el nivel de interferencia total excede el nivel de ruido de fondo en una cantidad determinada $1/r$. Primero que todo, sabemos que:

Interferencia total = (Interf. misma celda)+(Interf. otras celdas)+(Ruido térmico) Ec. 6.

2.4.2 Bloqueo duro (Hard blocking)

Ahora consideramos la condición de bloqueo duro para un sistema CDMA. Asumimos aquí que la relación real de interferencia total a ruido de fondo es suficientemente pequeña, para que la probabilidad de bloqueo suave sea despreciable. Considere un sistema que consiste de tres celdas como se muestra en la Figura 5. Las áreas de cobertura de las celdas se traslapan y producen handoff suave bidireccional y tres formas de áreas de handoff suave.

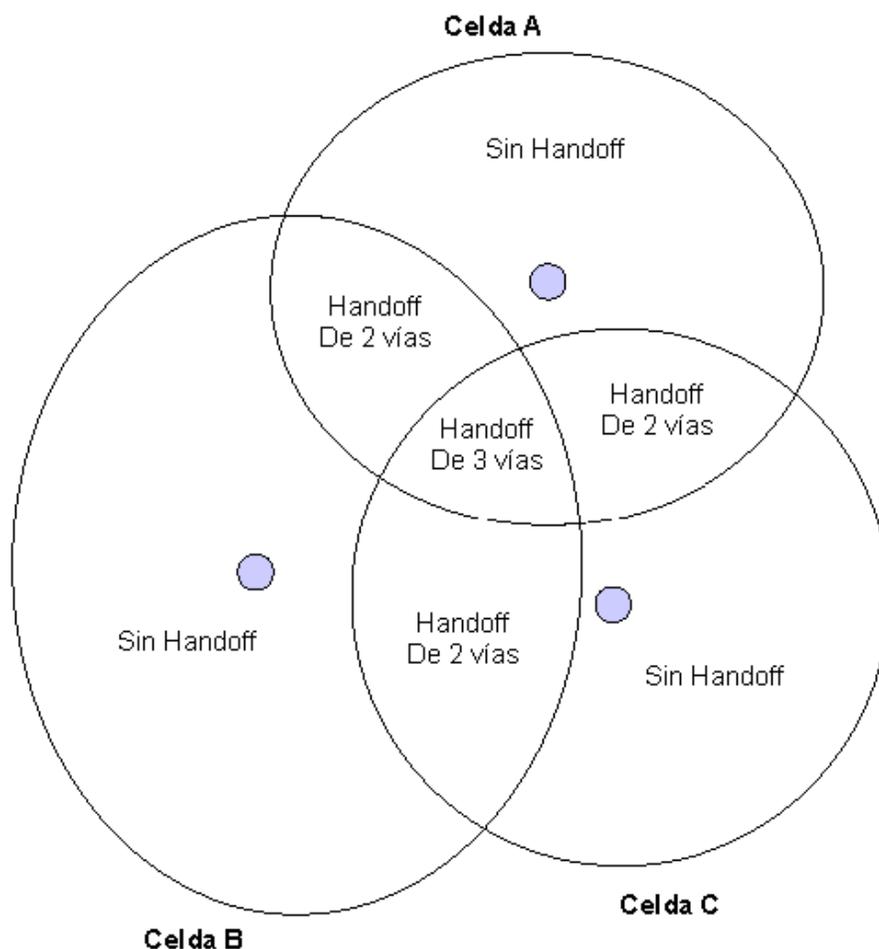


Figura 5. Tres celdas CDMA que se traslapan con áreas de handoff de dos y tres vías

Hagamos x_1 el porcentaje de tiempo en que los móviles no están en handoff suave, x_2 son el porcentaje de tiempo que los móviles gastan en handoff suave bidireccional, y x_3 es el porcentaje de tiempo que los móviles gastan en handoff suave de tres vías. Donde

x_1 = Porcentaje de tiempo que los móviles no están en handoff suave;

x_2 = Porcentaje de tiempo que los móviles gastan en handoff suave de dos vías;

x_3 = Porcentaje de tiempo que los móviles gastan en handoff suave de tres vías;

$$X_1 + X_2 + X_3 = 100\% = 1.0$$

Así, X_1 puede escribirse como:

$$X_1 = 1 - X_2 - X_3$$

Aquí distinguimos entre la carga aparente y la carga real. En AMPS, la carga aparente y la carga real son equivalentes. En CDMA, la carga aparente es la cantidad de carga que se atribuye a los usuarios, mientras la carga real es la cantidad de carga real experimentada por el sistema celular o de PCS. La diferencia entre estos dos tipos de cargas es debida al handoff suave. Durante un handoff suave de dos vías, el móvil está utilizando los recursos del canal de dos celdas diferentes al mismo tiempo, y durante un handoff suave de tres vías, el móvil está utilizando los recursos del canal de tres celdas diferentes al mismo tiempo. Por consiguiente, el factor de carga, definido como la relación de la carga real a la carga aparente, se da por :

Factor de carga = Carga Real / Carga Aparente.

$$= \frac{X_1 + 2X_2 + 3X_3}{X_1 + X_2 + X_3} = \frac{(1 - X_2 + X_3) + 2X_2 + 3X_3}{1}$$

Factor de carga = $1 + x_2 + 2x_3$

Carga Real = factor de Carga x (Carga aparente)

Por consiguiente, la carga real puede siempre ser usada para proveer el número de canales en un sistema CDMA.

ANEXO C. PROCESOS DE LLAMADA

3.1 PROCESO DE LLAMADA AMPS

Llamada originada en el movil AMPS

Para el establecimiento de una llamada originada en el móvil se presentan las siguientes etapas (ver figura 6.):

- El usuario digita el número llamado en el teléfono móvil.
- La unidad móvil envía el mensaje de iniciación de llamada por el canal de control inverso (RCCH).
- El canal de control de la EBC (CCH) envía el mensaje para la central celular CCM.
- El CCM asigna el enlace (seize) y el canal de voz disponible en la celda en que se encuentra la unidad móvil para atender a la petición de ésta. El canal de voz envía una señal de reconocimiento para el CCM y coloca el tono de SAT en el aire.
- El CCM envía el mensaje a través del canal de control para la unidad móvil, designando el primer canal de voz IVCD (Inicial Voice Channel Designation) y el tono de SAT que será utilizado, vía SAT Color Code (SCC).
- La unidad móvil detecta el tono de SAT, lo filtra y transmite en el canal designado.
- El trancceptor de la EBC detecta la transmisión del SAT por la unidad móvil y envía esta señal al CCM. A seguir, el CCM señaliza la troncal y genera los tonos de línea y alerta.
- El usuario destinado atiende y el sistema comienza la facturación.

3.1.1. Liberacion por el movil AMPS

Para la liberación por el móvil ocurre lo siguiente (ver figura 7):

- El usuario presiona la tecla END.
- La unidad móvil genera el tono ST de 10KHz por 1.8 seg. en el canal de voz.
- El trancceptor de la EBC detecta el tono de ST y envía el pedido de liberación al CCM.
- El CCM cesa la facturación y libera el canal de voz y troncal.

- Señaliza la central pública.
- Fin.

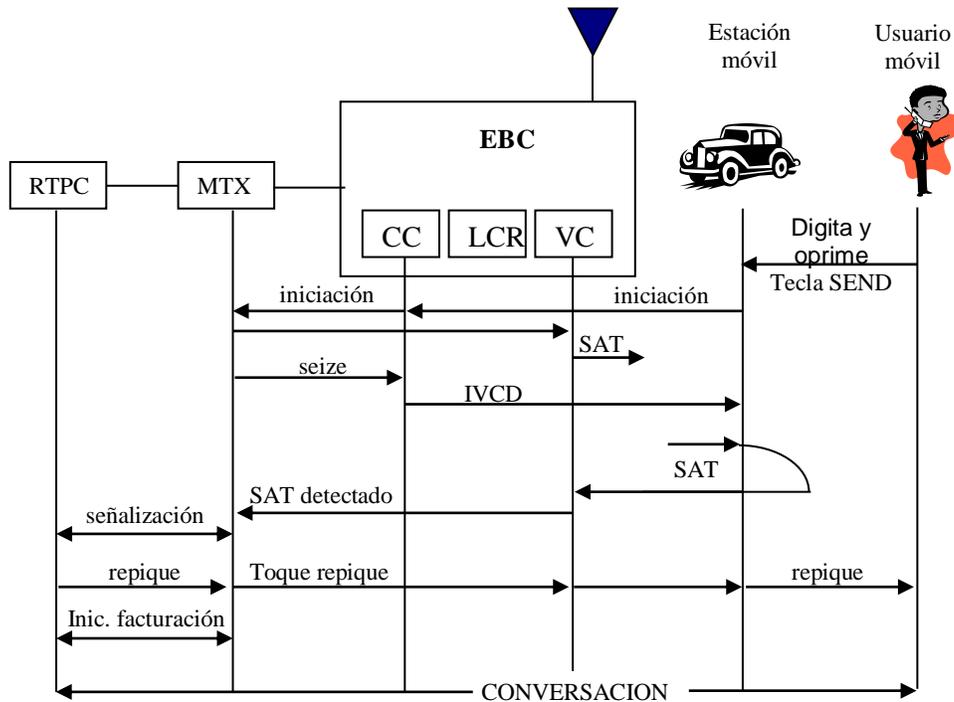


Figura 6. Llamada originada en el móvil

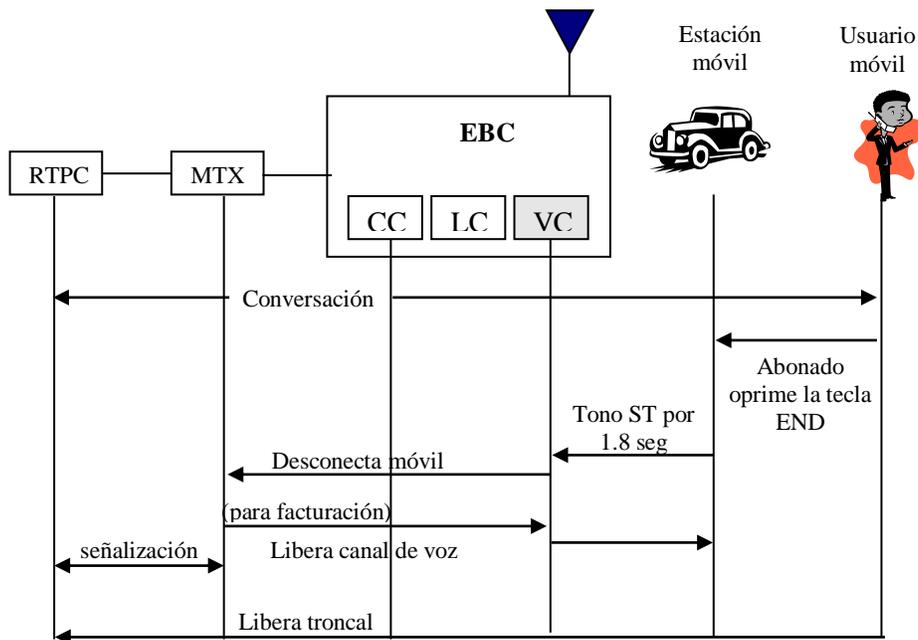


Figura 7. Liberación por el móvil.

3.1.2 Llamada originada en la red publica

Las llamadas originadas en la red pública constan de los siguientes pasos (ver figura 8):

- La central de conmutación pública envía señalización a la central CCM, pidiendo comunicación con usuario móvil.
- El CCM envía un mensaje de búsqueda (paging) a todas las EBCs donde posiblemente esté la unidad móvil solicitada.
- Los canales de control del enlace delantero FCCH de todas esas EBC transmiten el mensaje de búsqueda (paging).
- Suponiendo que la unidad móvil esté activa y, presente en esta área de servicio, monitoreando el canal de control, reconocerá el pedido de búsqueda (paging) y responderá por medio de un acceso, en el canal de control reverso.
- El CCM asigna un canal de voz disponible para mantener la conversación (seize), y ordena al trancceptor de la EBC, que opera en ese canal involucrado, que transmita el tono de SAT.
- El CCM envía el mensaje, por medio del FCCH para la unidad móvil, informando el primer canal de voz involucrado (IVCD) para el cual esta unidad debe sintonizarse y el tono de SAT que debe detectar (SCC). Cabe resaltar que hasta este punto la unidad móvil se mantuvo sincronizada en el canal de control.
- Sintonizado en el canal de voz designado, la unidad móvil detecta el tono de SAT y lo compara con el informado por el canal de control. Si son los mismos, la unidad móvil filtra ese tono y lo retransmite para la EBC (handshake).
- El trancceptor de la EBC detecta el tono de SAT enviado por la unidad móvil y lo notifica a CCM.
- El CCM envía un mensaje de alerta por medio del canal de voz. Solamente en este momento suena el teléfono del usuario móvil.
- Luego, la unidad móvil transmite un tono ST de 10KHz en el canal de voz.
- Cuando el usuario atiende, el tono de ST es retirado del aire y ese hecho es comunicado al CCM.
- El CCM señala a la central pública, se inicia la facturación y la conversación es establecida.

3.1.2. Llamadas con handoff

El proceso de handoff permite que la idea de los sistemas móviles celulares sea funcional. Cuando una unidad móvil, manteniendo una conversación, se distancia de su EBC, el nivel de la señal transmitida comienza a caer a valores muy bajos debido a la atenuación del medio, amenazando la calidad y la integridad de la transmisión. En este punto el sistema debe iniciar el proceso de

handoff, que es simplemente la transferencia de la conversación para un canal de voz con mejor relación señal/ruido. Además de lo anterior, este proceso puede ser utilizado para efectos de balanceamiento de tráfico entre celdas, técnicas de enrutamiento alternativo de llamadas, o aún cuando se detecta interferencia en el canal de voz utilizado.

De modo general, el proceso de handoff emplea los siguientes pasos (ver figura 9):

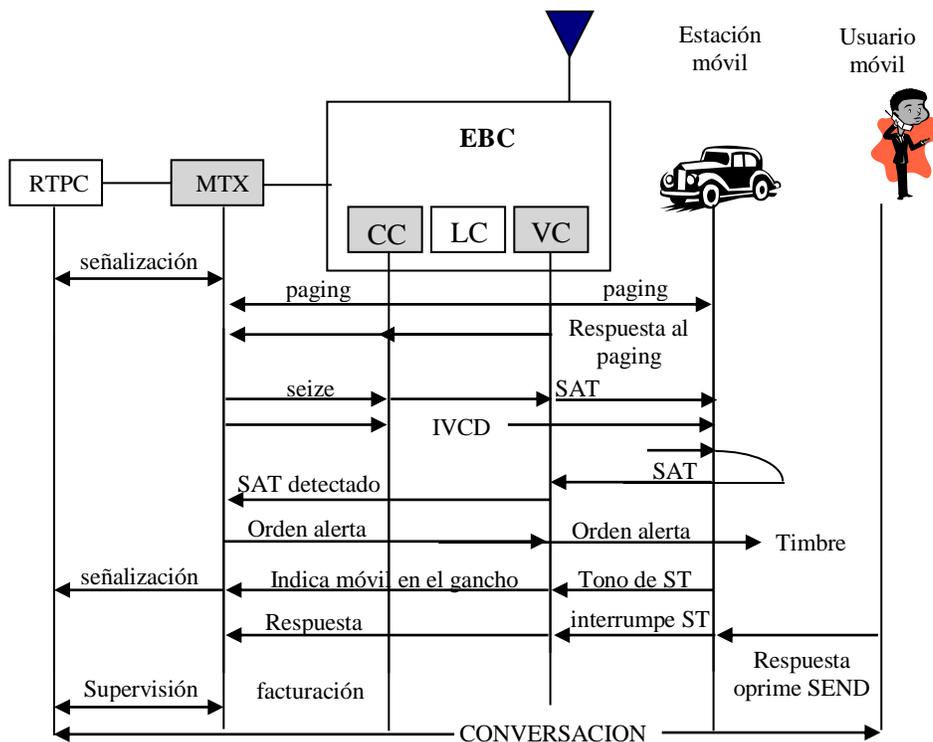


Figura 8. Llamada originada en la red pública

- Existe una conversación en curso en el canal 576 de la EBC 1, mientras la unidad móvil se aleja de la EBC 1.
- El trancceptor de voz en la EBC 1 que monitorea constantemente el nivel de la señal recibido (RSSI), detecta que la señal está cayendo abajo del nivel permitido por el sistema y envía una requisición de handoff para el CCM.
- El CCM tiene información de cuáles celdas o sectores son adyacentes y entonces, envía una requisición para monitorear el nivel de la señal recibida.
- Los trancceptores de esas celdas que desempeñan la función de localización (LCR) sintonizan el canal 576 y miden el SRI y, a seguir, envían esas informaciones al CCM. El CCM, con base en esas medidas y en la disponibilidad de canales de cada celda candidata al handoff, decide cual es la mejor opción.

- Enseguida, el CCM envía un mensaje de “seize”, asigna el canal de la celda candidata y ordena al nuevo canal que transmita el tono de SAT.
- El CCM envía el mensaje de handoff para la unidad móvil vía canal de voz 576, informando el nuevo canal de voz y SAT.
- La unidad móvil envía un tono de señalización (ST) de 50 ms vía canal de voz antiguo, liberando ese canal para atender a las otras llamadas.
- La unidad móvil sintoniza el nuevo canal de voz, canal 355, detecta el SAT esperando y lo retransmite para la nueva EBC.
- El trancceptor de voz de la nueva EBC detecta la presencia del SAT correcto, informando al CCM, y la conversación prosigue en el nuevo canal.

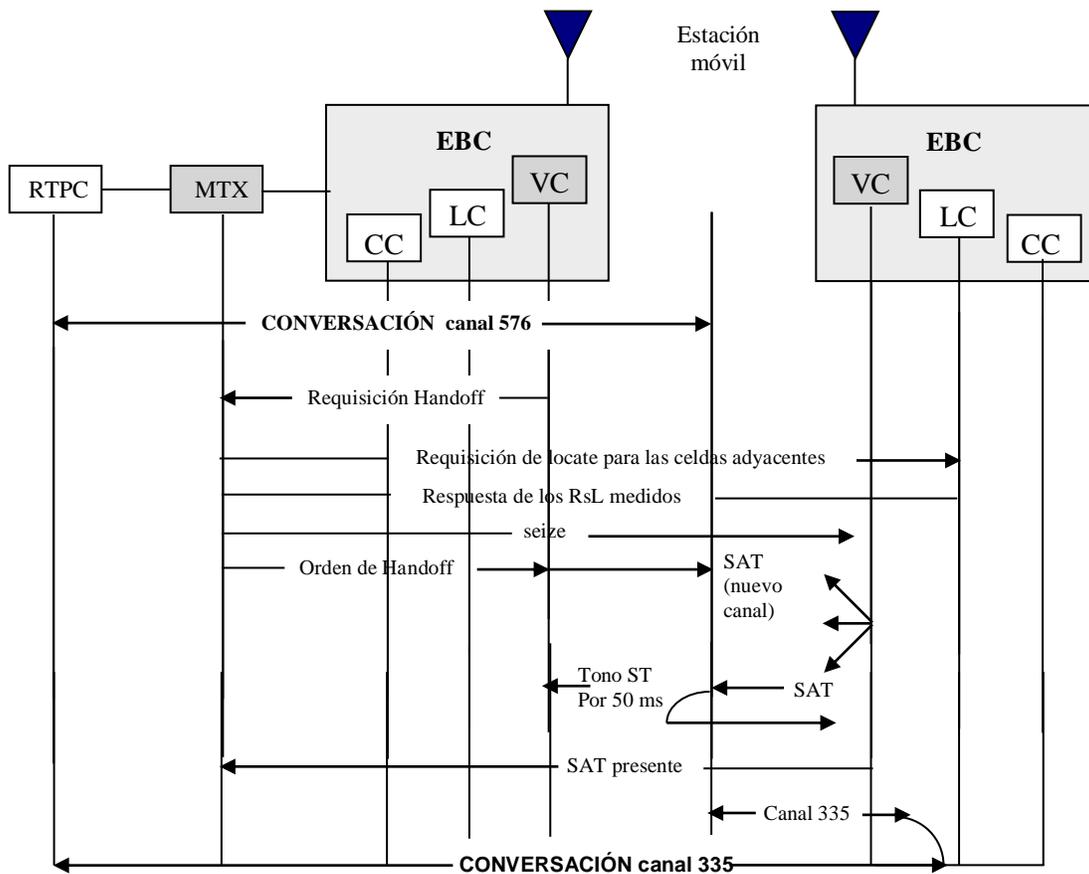


Figura 9. Establecimiento del Handoff

3.2 PROCESO DE LLAMADA CDMA

El proceso de llamada se refiere a todas las funciones necesarias que el sistema CDMA necesita llevar a cabo para preparar, mantener, y terminar una llamada entre un móvil y otro. Dos tipos

de conexiones son posibles: una llamada de móvil a fijo y una llamada móvil a móvil. En el caso de móvil a fijo, la llamada es enrutada a través de la red pública telefónica conmutada (RTPC). El sistema IS-95 CDMA adopta una descripción de estado del proceso de llamada. Siendo el móvil el elemento común en los dos tipos de conexiones (p.e. móvil a fijo y móvil a móvil), la norma IS-95 especifica los estados de llamada desde la perspectiva de la estación móvil CDMA.

Es importante notar que la norma no especifica estados de llamada para la estación base. Obviamente, cualquier función que la estación base realice debe trabajar con los estados de llamada móviles especificados; los vendedores de infraestructura son libres de llevar a cabo sus propias funciones de estación base para satisfacer los requerimientos del proceso de llamada.

Durante la operación normal el móvil puede ocupar cualquiera de los siguientes estados:

- Estado de inicialización de la estación móvil;
- Estación móvil en estado ocioso;
- Estado de acceso al sistema;
- Control de estación móvil en el estado de canal de tráfico.

La Figura 10 gráficamente describe estos estados y las transiciones asociadas.

Después de encendido, el móvil primero entra en el estado de inicialización de la estación móvil (o estado de inicialización), donde el móvil selecciona y adquiere un sistema.

Al terminar el estado de inicialización, el móvil ha adquirido el sistema totalmente y su sincronización. Entonces el móvil entra en el estado ocioso de la estación móvil (o estado ocioso), donde el móvil supervisa mensajes en el canal de Paging.

Cualquiera de los siguientes tres eventos causarán la transición del móvil del estado ocioso al estado de acceso al sistema (o estado de acceso):

- 1) El móvil recibe un mensaje del canal de paging requiriendo un reconocimiento o contestación,
- 2) El móvil origina una llamada, o
- 3) El móvil realiza un registro.

En el estado de acceso, el móvil envía mensajes a la estación base por el canal de acceso. Cuando el móvil se dirige a un canal de tráfico, entra al control de la estación mvil en el estado de canal de tráfico (o estado de canal de tráfico), donde el móvil se comunica con la estación base

usando el enlace delantero y de reversa. Cuando se termina la llamada el móvil vuelve al estado de inicialización.

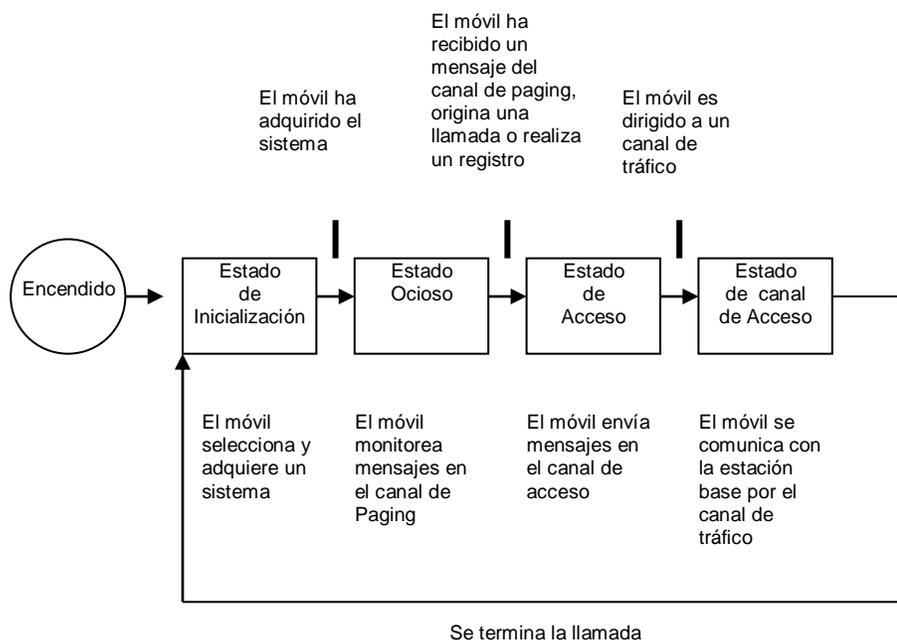


Figura 10. Estados del proceso de llamada

3.2.1. ESTADO DE INICIALIZACIÓN

Después de encendido, el móvil entra en el estado de inicialización. Este estado contiene cuatro subestados, que el móvil recorre secuencialmente:

1. Subestado de determinación del sistema;
2. Subestado de adquisición del canal piloto;
3. Subestado de adquisición del canal de sincronización;
4. Subestado de cambio de cronometro.

3.2.1.1 Subestado de determinación del sistema

El subestado de determinación de sistema es el primer subestado al que el móvil entra dentro del estado de inicialización. En este subestado, el móvil selecciona qué sistema usar (pe., sistema A o

sistema B en la banda celular). Debido a que los teléfonos celulares CDMA tienen capacidad de modo dual, el móvil también decide si está en modo CDMA o modo analógico. Si se selecciona el modo CDMA, el móvil procede a seleccionar qué portadora CDMA usar. Entonces entra al próximo subestado.

3.2.1.2 Subestado de adquisición del canal piloto

En el subestado adquisición del canal piloto, el móvil demodula y adquiere el canal piloto del sistema CDMA seleccionado. El móvil tiene que adquirir el piloto dentro de un cierto límite de tiempo; si el móvil adquiere al piloto dentro del tiempo límite, entonces entra en el subestado de adquisición del canal de sincronización. Si el móvil no adquiere el piloto dentro del límite de tiempo, entonces se devuelve subestado de determinación del sistema.

3.2.1.3 Subestado de adquisición del canal de sincronización

En el subestado de adquisición del canal de sincronización, el móvil procede a adquirir el canal de sincronización del sistema CDMA. Este obtiene la configuración del sistema e información de temporización adquiriendo el canal de sincronización y leyendo el mensaje del canal de sincronización.

Se puede notar que el móvil también necesita adquirir el canal de sincronización y leer el mensaje dentro de un cierto límite de tiempo. Si el móvil no recibe el mensaje del canal de sincronización dentro del tiempo límite, entonces regresa al subestado de determinación del sistema. Si el móvil recibe el mensaje del canal de sincronización dentro del tiempo permitido, y si el protocolo de revisión de nivel del móvil es mayor que o igual al nivel mínimo soportado por la estación base, entonces el móvil procede a entrar en el próximo subestado.

3.2.1.4 Subestado de cambio de tiempo o cronometro

En el subestado de cambio de tiempo, el móvil sincroniza su cronometro al tiempo del sistema CDMA y su fase de código largo al del sistema de CDMA.

A estas alturas, el móvil ya ha demodulado el mensaje del canal de sincronización y posee todos los parámetros del mensaje; tres parámetros son usados para sincronizar la fase de código largo del móvil y el tiempo del sistema a los del sistema CDMA (PILOT_PN, LC_STATE, y SYS_TIME).

Después de que el móvil ha adquirido el sistema CDMA totalmente, entra al estado ocioso del móvil.

3.2.2 ESTADO OCIOSO

3.2.2.1 Monitoreo del canal de paging

En el estado ocioso, el móvil monitoréa el canal de Paging en el enlace de reversa. Para recibir mensajes y recibir una llamada entrante, el móvil necesita monitorear el canal de Paging. La transmisión del canal de Paging se divide en slots que poseen 80 ms de longitud. Hay dos maneras en que el móvil puede supervisar el canal de Paging: supervisando *en modo de no slott o en modo de slott*.

En modo de no slott, el móvil monitoréa el canal de Paging todo el tiempo. En modo de slott, el móvil monitoréa el canal de Paging solo durante los slots asignados al canal de Paging. Debido a que el móvil no tiene que supervisar todos los slots todo el tiempo, el móvil que opera en el modo slott puede conservar la potencia de su batería.

3.2.2.2 Handoff ocioso

Cuando el móvil está en el estado ocioso y se ha movido desde una estación base del área de cobertura a otra estación base, ocurre un handoff ocioso. Si el móvil descubre que el nivel del piloto de otra estación base es lo suficientemente fuerte comparado con el de la estación base que lo acoge, procede a realizar un handoff ocioso. Haciendo esto, el móvil mantiene tres conjuntos de desplazamientos del piloto de la estación base (O sector).

- **Conjunto activo:** este conjunto contiene el desplazamiento del piloto del sector cuyo canal de Paging se supervisa actualmente por el móvil.
- **Conjunto vecino:** Este conjunto contiene los desplazamientos del piloto de aquellos sectores que son posibles candidatos para handoff ocioso. La lista de mensajes vecinos especifica los pilotos en el conjunto vecino.
- **Conjunto restante:** Este conjunto contiene todos los desplazamientos de piloto posibles en el sistema excluyendo los pilotos en el conjunto activo y en el conjunto vecino.

El móvil también usa tres ventanas de búsqueda —SRCH_WIN_A, SRCH_WIN_N, y SRCH_WIN_R— para buscar aquellos pilotos contenidos en los respectivos conjuntos. Si el móvil determina que uno de los conjuntos vecinos o la señal que se mantiene del conjunto de piloto es suficientemente más fuerte que el piloto del conjunto activo, el móvil realiza un handoff ocioso. El handoff ocioso no es nada más que comenzar a supervisar el canal de Paging de un nuevo sector cuyo nivel de piloto es suficientemente mayor que el del sector actual.

Es importante reconocer que los móviles monitorean el canal de Paging de sólo una estación base (p.e., el conjunto activo contiene un sólo piloto). Por consiguiente, el handoff suave no es aplicable en el estado ocioso.

3.2.2.3 Mensajes del canal de paging

Hay un total de seis mensajes de encabezamiento que se envían al móvil en el canal de Paging:

Mensajes de parámetros del sistema;

Mensajes de listas de vecinos;

Mensajes de listas de canales CDMA;

Mensajes de parámetros extendidos del sistema;

Mensajes de redirección de servicio global;

Mensajes de parámetros de acceso.

Los primeros cinco mensajes se refieren a los mensajes de configuración. El móvil constantemente está recibiendo varios de estos mensajes en el canal de Paging, y dentro de estos mensajes hay muchos campos que necesitan ser actualizados y cargados en la memoria del móvil. Así que, cómo el móvil mantiene el seguimiento de cuales mensajes son actuales y cuales no?. Resulta que la estación base asigna un número de secuencia de mensajes de configuración (CONFIG_MSG_SEQ) a un conjunto de mensajes de configuración actual. Cuando el contenido (campos) de uno o más de los mensajes de configuración cambian, El número de secuencia de mensajes de configuración se incrementa.

Para cada uno de los mensajes de configuración, el móvil mantiene o almacena localmente un número de secuencia de mensajes pertinente a ese mensaje en particular:

- SYS_PAR_MSG_SEQS, o número de secuencia de mensajes de los parámetros almacenados en el sistema;
- NGHBR_LIST_MSG_SEQS, o número de secuencia de lista de mensajes vecinos;

- CHAN_LIST_MSG_SEQS, o lista de mensajes almacenada de canales CDMA;
- EXT_SYS_PAR_MSG_SEQS, o lista de mensajes almacenada de número de secuencia de mensajes de parámetros extendidos del sistema;
- GLOB_SERV_REDIR_MSG_SEQS, o número de secuencia almacenado de mensajes de redireccionamiento de servicio global.

Para cada mensaje de configuración recibido, los móviles almacenan el número de secuencia del mensaje de configuración (contenido en el mensaje de configuración) en el número de sucesión de mensaje respectivo. Por ejemplo, si el campo de CONFIG_MSG_SEQ de un mensaje de lista de vecino recibido es 11, entonces el móvil debe poner al día su NGHBR_LIST_MSG_SEQS local guardado a 11.

El móvil considera sus parámetros de configuración almacenados para ser actualizados sólo si todos los números de secuencia de mensaje almacenado; es decir, SYS_PAR_MSG_SEQS, NGHBR_LIST_MSG_SEQS, CHAN_LIST_MSG_SEQS, EXT_SYS_PAR_MSG_SEQS, y GLOB_SERV_REDIR_MSG_SEQS, son iguales al CONFIG_MSG_SEQS guardado.

CONFIG_MSG_SEQS es simplemente la configuración más reciente del número de secuencia de mensajes recibido.

El mensaje de parámetros de acceso está numerado secuencialmente por su Campo de ACC_MSG_SEQ, y para guardar huella del mensaje más actual, el móvil almacena el más recientemente recibido número de secuencia de mensajes de parámetros ACC_MSG_SEQS.

3.2.3 ESTADO DE ACCESO

En el estado de acceso, el móvil transmite mensajes a la estación base usando el canal de acceso. Además, el móvil también recibe mensajes de la estación base en el canal de Paging. Hay seis subestados que el móvil puede ocupar dentro del estado de acceso :

- Subestado de actualización de la información de cabecera
- Subestado de respuesta de página
- Subestado de Esfuerzo de Origen de Estación móvil
- Subestado de Acceso del registro
- Subestado de respuesta Orden/mensaje de la estación base
- Subestado de transmisión de mensajes de estación móvil

3.2.3.1 Subestado de actualización de la información de cabecera

Después de que el móvil recibe los mensajes de configuración actuales en el canal de Paging, compara la secuencia de los números para determinar si todos los mensajes de configuración están actualizados. Los Procedimientos de actualización se usan para poner al día toda la secuencia de números guardados localmente. El móvil también los revisa si tienen o no los últimos parámetros de acceso verificando su número de secuencia de mensajes de parámetros de acceso almacenados localmente.

Además de recibir los mensajes de configuración y mensajes de parámetros de acceso, el móvil también puede recibir los siguientes mensajes de paging:

- Mensaje de página;
- Mensaje de página de slott;
- Mensaje de página general.

Siempre que el móvil recibe un mensaje de paging, la estación móvil busca cada mensaje para determinar si este contiene la *identificación Internacional de estación móvil (IMSI)*. Si el mensaje contiene el IMSI del móvil, entonces el móvil pasa al subestado de respuesta de página y transmite *un mensaje de contestación en el canal de acceso*.

3.2.3.2 Subestado de respuesta de página

En este subestado, el móvil envía un mensaje de contestación de página en respuesta a mensajes de página enviados por la estación base. El móvil envía el mensaje de contestación de página usando los procedimientos de acceso descritos en la Sección 3.2.3.7.

Después de recibir el mensaje de contestación de página, la estación base puede enviar al Móvil el mensaje de asignación de canal en el canal de Paging para empezar a configurar la llamada. El mensaje de asignación de canal contiene parámetros como CDMA_FREQ (asignación de frecuencia) y CODE_CHAN (canal de código), y estos parámetros se usan por el móvil para sintonizar a la frecuencia de RF asignada y el canal de código CDMA para empezar a recibir el canal de tráfico delantero.

3.2.3.3 Subestado de esfuerzo de origen de estación móvil

En este subestado, el móvil envía un mensaje de origen a la estación base para originar una llamada. El móvil envía el mensaje de origen usando los procedimientos de acceso descritos en la Sección 3.2.3.7.

Después de recibir el mensaje de origen, la estación base puede enviar al móvil un mensaje de asignación de canal en el canal de Paging para empezar a configurar la llamada. El mensaje de asignación de canal contiene parámetros como CDMA_FREQ (asignación de frecuencia) y CODE_CHAN (código del canal), y estos parámetros se usan por el móvil para sintonizar la frecuencia RF asignada y el código del canal CDMA para empezar a recibir el canal de tráfico de reversa.

3.2.3.4 Subestado de acceso del registro

En este subestado, el móvil envía un mensaje de registro a la estación base. El móvil envía el mensaje de registro usando los procedimientos de acceso descritos en la Sección 3.2.3.7.

El registro es el proceso donde el móvil informa la estación base sobre la identificación móvil, estado, situación, y otras informaciones pertinentes.

Por ejemplo, el móvil puede informar a la estación base sobre la localización su localización para que el sistema pueda ubicar eficazmente al móvil cuando hay una llamada entrante.

3.2.3.5 Subestado de respuesta orden/mensaje de la estación base

En este subestado, el móvil envía una contestación a cualquier otro mensaje enviado por la estación base. Por ejemplo, el móvil puede enviar un mensaje de respuesta de autenticación en respuesta a un mensaje de autenticación enviada por la estación base. El móvil envía el mensaje pertinente usando los procedimientos de acceso descritos en la Sección 3.2.3.7.

3.2.3.6 Subestado de transmisión de mensajes de estación móvil

Un teléfono móvil no tiene que soportar este subestado particular. En otras palabras, el soporte del móvil a este subestado es optativo. En este subestado, el móvil envía un mensaje de datos a la estación base. El móvil envía el mensaje de datos usando los procedimientos descritos en la sección 3.2.3.7.

3.2.3.7 Procedimientos de acceso

Cuando el móvil envía mensajes a la estación base en el canal de acceso, el problema fundamental es el de acomodar más de un móvil. Por ejemplo si hay muchos móviles que desean acceder a una estación base.

En algún grado, este problema de congestión puede ser resuelto separando los móviles asignándoles canales de acceso diferentes. La estación base hace esto especificando el parámetro ACC_CHAN en el mensaje de parámetros de acceso; el móvil al azar escoge un canal de acceso entre 0 y ACC_CHAN a transmitir.

Sin embargo, si más de un móvil usa el mismo canal de acceso, sus transmisiones por el canal de acceso podrían chocar en tiempo. Este problema de colisión puede también resolverse volviendo aleatorio el tiempo de transmisión de los diferentes móviles tal que se reduzca la probabilidad de colisión.

Hay dos tipos de mensajes enviados en el canal de acceso: un mensaje de contestación y un mensaje de requerimiento. El mensaje de contestación se envía en respuesta a un mensaje de la estación base. Por otro lado, un mensaje de requerimiento se envía autónomamente por el móvil. Se usan procedimientos de acceso diferentes para enviar estos dos tipos de mensajes.

La Figura 11 muestra un intento de acceso por el móvil que está enviando una transmisión en el canal de acceso. Varias observaciones pueden hacerse con respecto al intento de acceso:

1. Un Intento de acceso consiste en de varias secuencias de pruebas de acceso. Para enviar mensajes de contestación, el número del máximo de sucesiones permitido en el intento de acceso es dado por el parámetro MAX_RSP_SEQ (Parámetro que puede ser cambiado por el operador del sistema). MAX_RSP_SEQ tiene un límite superior de 15.
2. Para enviar mensajes de demanda, el número máximo de secuencias permitido en el intento de acceso es dado por el parámetro MAX_REQ_SEQ. MAX_REQ_SEQ tiene un límite superior de 15.
3. Un nuevo canal de acceso se genera al azar entre 0 y ACC_CHAN antes de cada secuencia de prueba de acceso. Para que, cada secuencia de prueba de acceso pueda ser transmitida en diferentes canales de acceso.

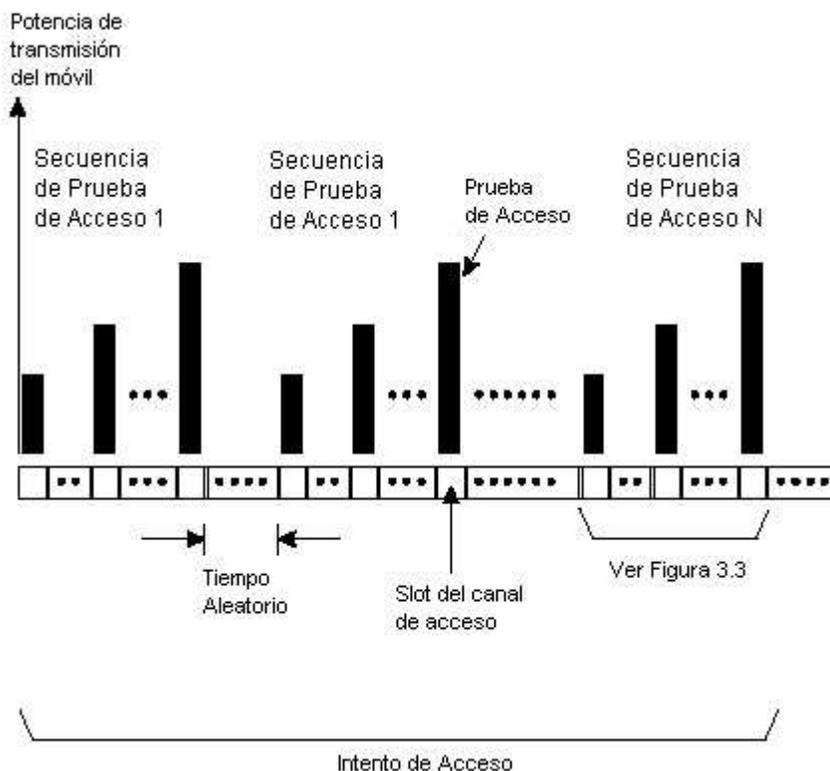


Figura 11. Intento de Acceso

4. Hay un tiempo aleatorio entre las secuencias de pruebas de acceso. Al enviar mensajes de contestación, el tiempo aleatorio es un número entre 0 y $(1+BKOFF)$ en la unidad del slot del canal de acceso. Por ejemplo, si BKOFF es 3, entonces un número aleatorio se genera entre 0 y 4. Digamos que el número aleatorio generado es 3; entonces, el tiempo aleatorio entre las dos secuencias de prueba de acceso es 3 slots. Este tiempo aleatorio puede ser diferente después de cada secuencia de prueba de acceso. Este número aleatorio también es conocido como secuencia de backoff.
5. El tiempo aleatorio para los mensajes de requerimiento es generado de manera diferente.

Además del número aleatorio entre 0 y $(1+BKOFF)$, hay un retardo persistente adicional incluido en el tiempo aleatorio. En otras palabras, el tiempo aleatorio es la suma de los números aleatorios y el retraso de persistencia, todos en la unidad de slots del canal de acceso.

La cantidad real de retraso de persistencia depende del resultado de *una prueba de persistencia realizada por el móvil*; la prueba usa la razón para el acceso y clase de servicio como entradas, y tiene una salida pseudo-aleatoria.

Se usa retraso de persistencia para aumentar el tiempo aleatorio el tiempo de transmisión de requerimiento de mensajes (p.e., aquellos mensajes que se transmiten autónomamente por el móvil). Esto se necesita porque la estación base no puede controlar la proporción de llegada de mensajes de demanda. El retraso de persistencia no se necesita en la transmisión de mensajes de respuesta por que la estación base puede controlar indirectamente la proporción de la llegada de mensajes de contestación; la estación base lo hace controlando la proporción a la que transmite mensajes que requieren contestaciones.

La Figura 12 muestra una secuencia de prueba de acceso en detalle. Algunas observaciones también puede hacerse con la secuencia de prueba de acceso:

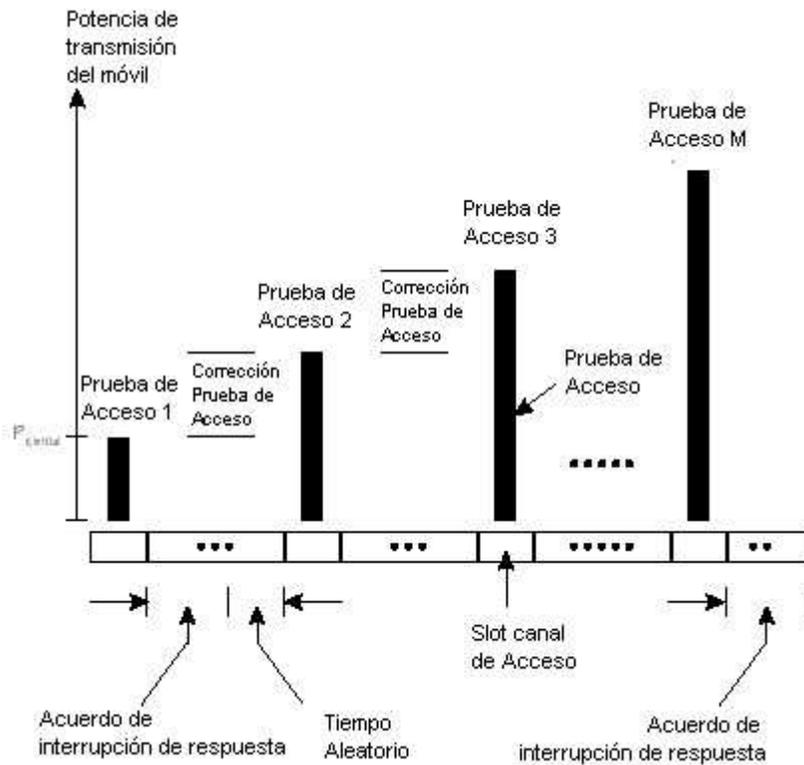


Figura 12. Secuencia de prueba de Acceso

1. Una secuencia de prueba de acceso consiste de varias pruebas de acceso. Una prueba de acceso es básicamente una transmisión contenida en un slot del canal de acceso, y la transmisión se envía a algún nivel de potencia. El máximo número de pruebas permitido en una secuencia de pruebas de acceso se da por el Parámetro NUM_STEP. NUM_STEP es un parámetro que puede ser cambiado por el operador del sistema. Se puede notar que el propio NUM_STEP tiene un límite superior de 15.

2. La potencia inicial de la primera prueba de acceso es controlada por el control de potencia de lazo abierto. La potencia inicial se da por:

$$P_{r,initial} = -p_r - 73 + NOM_PWR + INIT_PWR$$

3. Las potencias de pruebas de acceso sucesivas son incrementadas por una cantidad conocida como la corrección de prueba de acceso. La corrección de prueba de acceso es igual a la especificada por el parámetro PWR_STEP.
4. Después de la transmisión de una prueba de acceso, el móvil esperará por un periodo de tiempo conocido como interrupción de contestación de reconocimiento (acknowledgment response timeout). Si un reconocimiento de la estación base se recibe durante este tiempo, entonces el intento de acceso tiene éxito y el móvil finaliza el intento de acceso.
5. Si no se recibe ningún reconocimiento, el móvil espera un tiempo aleatorio adicional antes de transmitir la próxima prueba de acceso. Este tiempo aleatorio es un número al azar generado entre 0 y (1+PROBE_BKOFF) en la unidad de slot del canal de acceso.

3.2.4 ESTADO DE CANAL DE TRÁFICO

El móvil puede entrar en el estado de canal de tráfico de dos subestados dentro del estado de acceso: el subestado de contestación de página o el subestado de intento de origen de la estación móvil. En otras palabras, después de que el móvil ha respondido con éxito a una página de la estación base o después de que el móvil ha originado con éxito, este puede entrar en el estado de canal de tráfico. En el estado de canal de tráfico, el móvil se comunica con la estación base usando los canales de tráfico delanteros y de reversa. Este estado consiste de cinco subestados:

- Subestado de inicialización del canal de tráfico;
- Subestado de espera por orden;
- Subestado de espera para contestación de estación móvil;
- Subestado de conversación;
- Subestado de liberación.

3.2.4.1 Subestado de inicialización del canal de tráfico

En el Subestado de inicialización del canal de tráfico, el móvil verifica si puede recibir información en el canal de tráfico delantero. Al hacer esto, el móvil verifica si puede recibir dos buenas tramas consecutivas en el canal de tráfico delantero dentro de 200 ms. Si puede, empieza a transmitir en el canal de tráfico de reversa.

Si el móvil recibe una orden de reconocimiento de la estación base dentro de dos segundos después de entrar a este subestado, entonces ocurrirá lo siguiente:

- Si la llamada es terminada por el móvil, entonces el móvil entraría a la espera del subestado de orden o petición.
- Si la llamada es originada por el móvil, este puede entrar al subestado de conversación.

Por supuesto, las cosas pueden salir mal mientras el móvil está en este subestado. Si el móvil no recibe dos buenas tramas consecutivas dentro de 200 ms, o si el móvil no recibe una orden de reconocimiento de estación base dentro de dos segundos después de entrar en este subestado, entonces el móvil se devolverá al subestado de determinación del sistema o al estado de inicialización.

3.2.4.2 Subestado de espera de orden

Si la llamada es terminada por el móvil, este entra en este subestado desde el subestado de inicialización del canal de tráfico. Aquí, el móvil espera por una alerta *con mensajes de información (enviada en el canal de tráfico delantero) de la* estación base. Este mensaje lleva básicamente una alarma, o aviso, al móvil. Si el móvil recibe el mensaje de alerta, entonces entrará en espera para el subestado de respuesta de la estación móvil.

Si el móvil no recibe el mensaje de alerta dentro de cinco segundos después de entrando en este subestado, entonces se devolverá al subestado de determinación del sistema del estado de inicialización.

3.2.4.3 Subestado de espera para respuesta de la estación móvil

Normalmente, el móvil entra en este subestado del subestado de espera de orden. En este subestado, el móvil espera a que el usuario conteste la llamada. Note que el móvil puede entrar en este subestado si la llamada es terminada por el móvil. Si el usuario responde la llamada, entonces

el móvil deja de sonar y envía una orden de conexión de vuelta a la estación base en el canal de tráfico de reversa; entonces entra al subestado de conversación.

3.2.4.4 Subestado de conversación

Si la llamada es originada por el móvil, este entra en el subestado de conversación desde el subestado de inicialización del canal de tráfico. Si la llamada es terminada por el móvil, el teléfono móvil entra en este subestado desde el Subestado de respuesta de la estación móvil. En este subestado, el móvil y la estación base intercambian bits de tráfico primario en los canales de tráfico delantero y de reversa.

3.2.4.5 Subestado de liberación

En el subestado de liberación, los móviles liberan o desconectan la llamada. Si el móvil comienza la liberación, entonces el móvil primero envía un orden de liberación a la estación base en el canal de tráfico inverso. Si la estación base comienza la liberación, entonces la estación base envía una orden de liberación al móvil en el canal de tráfico delantero.

ANEXO D. ANALISIS DE LOS ENLACES DELANTERO Y DE REVERSA EN CDMA

En esta parte se va a adaptar la ecuación del enlace para usarla en el análisis de los enlaces delantero y de reversa del sistema CDMA. Existen dos parámetros importantes a considerar en el diseño CDMA; la E_c/I_0 del canal piloto, y la E_b/N del canal de tráfico de reversa. En esta sección, se hace referencia al móvil de interés como el móvil de prueba, y se examinan expresiones matemáticas de la E_c/I_0 del enlace delantero, y la E_b/N_0 de del enlace de reversa desde la perspectiva del móvil de prueba.

4.1. ANÁLISIS DEL ENLACE DELANTERO

Canal piloto

La E_c/I_0 es la energía por chip por densidad de interferencia medida sobre el canal piloto; esta es la intensidad de la señal del canal piloto. El móvil continuamente mide la E_c/I_0 y la compara con diferentes umbrales. Los resultados de esas comparaciones son reportadas de vuelta a la estación base para que esta pueda tomar una determinación de si el móvil debe hacer handoff de esta a la siguiente estación base o no. Así, la E_c/I_0 juega un papel importante en la determinación de si un móvil está dentro del área de cobertura de una estación base o no. Además, la señal del piloto es transmitida por una estación base a una potencia relativamente mas alta que la empleada para los canales lógicos del enlace delantero. Una llamada no puede ser establecida sin que el canal piloto del móvil haya sido recibido satisfactoriamente porque, junto con otras funciones, el canal piloto sirve como una referencia de fase coherente para la demodulación de otros canales lógicos en el enlace hacia delante.

Por consiguiente, la E_c/I_0 determina el área de cobertura hacia delante de una celda o sector, y se tiene que asegurar que la intensidad de la E_c/I_0 del enlace hacia delante es suficiente. Desarrollando una expresión para E_c/I_0 , se considerarán cuatro casos diferentes aumentando la complejidad:

- Una sola celda y un solo móvil;
- Muchas celdas y un solo móvil;
- Una única celda y muchos móviles;
- Muchas celdas y muchos móviles.

4.1.1. Una sola celda y un solo móvil

En esta situación, el móvil de prueba está recibiendo la señal piloto de una única estación base (ver figura 13), pero en adición al ruido térmico, la potencia total de esta estación base también está interfiriendo con la señal piloto. Hay que recordar que todos los canales lógicos están transmitiendo en la misma banda RF. Para una única celda que sirve a un solo móvil, la E_c/I_o medida por el móvil de prueba está dada por la ecuación 7.

$$\frac{E_c}{I_o} = \frac{\alpha_o P_o(\theta_o) L_o(\theta_o, d_o) G}{I_h + I_n + N} \quad \text{Ec. 7.}$$

donde,

- $P_o(\theta_o)$ = ERP de la estación base actual (sector 0) incluyendo la potencia de los canales piloto, paging y de sincronización en la dirección θ_o al móvil de prueba. Debido a que el ERP depende del patrón de antena, el cual es una función de la dirección de θ_o – el mismo ERP es también una función de la dirección θ_o .
- α_o = Fracción del ERP de la estación base anfitriona asignada a la potencia del piloto.
- $L_o(\theta_o, d_o)$ = Pérdida de trayecto de la estación base anfitriona en la dirección θ_o al móvil de prueba a una distancia d_o .
- G = Ganancia de antena receptora del móvil de prueba.
- I_h = Potencia recibida en el móvil de prueba de la potencia emitida por la estación base anfitriona.
- I_n = Potencia recibida en el móvil de prueba de interferencia originada por sistemas no CDMA. Este término es incluido para acomodar todas las otras posibles fuentes de interferencia que pudieran estar presentes en el sistema en la banda CDMA.
- N = Potencia de ruido térmico.

La ecuación 7 asume que el único canal de tráfico asignado al móvil de prueba es despreciable, y así no se incluye la contribución de interferencia de este único canal de tráfico en el denominador. También se incluye el término de interferencia I_n para tener cuidado con la interferencia de otras fuentes diversas.

Par el caso de una sola estación base y un solo móvil de prueba, la interferencia recibida (p.e, I_n) en el móvil de prueba es determinística y está dada por la ecuación 8:

$$I_b = P_o(\theta_o) L_o(\theta_o, d_o) G \quad \text{Ec. 8.}$$

donde toda la potencia $P_0(\theta_0)$ de la estación base contribuye al término de interferencia I_n en el denominador.

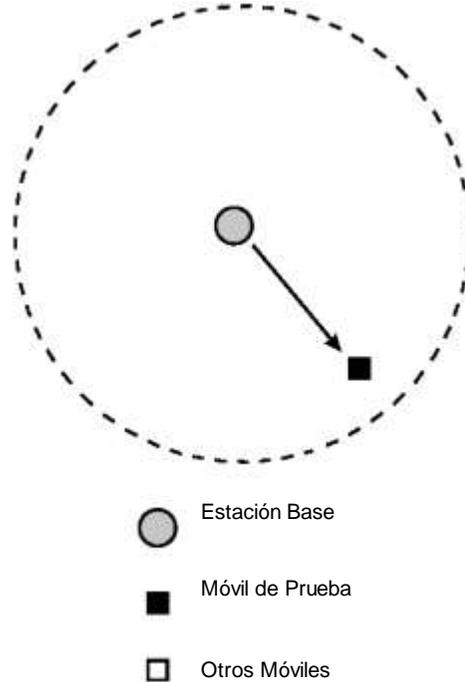


Figura 13. Una sola celda y sirviendo a un solo móvil – caracterización del enlace delantero.

4.1.2. Muchas celdas y un solo móvil

Para el caso de muchas estaciones base y un solo móvil de prueba, la situación es similar a aquella descrita anteriormente. Sin embargo, además de la recepción de sobre potencia determinística de la estación base anfitriona, el móvil de prueba también está interceptando las potencias de otras estaciones base circundantes (ver figura 14). Esas potencias de otras estaciones base representan un término adicional de interferencia en el denominador. Por lo tanto, la ecuación 7 se puede modificar a la ecuación 9.

$$\frac{E_c}{I_0} = \frac{\alpha_0 P_0(\theta_0) L_0(\theta_0, d_0) G}{I_b + I_n + I_o + N} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde I_o es la suma de las interferencias de otras estaciones base. I_o es determinístico y está dado por la ecuación 10

$$I_o = G \sum_{k=1}^K P_k(\theta_k) L_k(\theta_k, d_k) \quad \text{Ec. 10.}$$

La ecuación 10 simplemente es una sumatoria de todas las interferencias recibidas en el móvil de prueba (excluyendo la potencia de la estación base anfitriona $k = 0$). Se puede notar que hay un total de k estaciones base (o sectores) en el sistema.

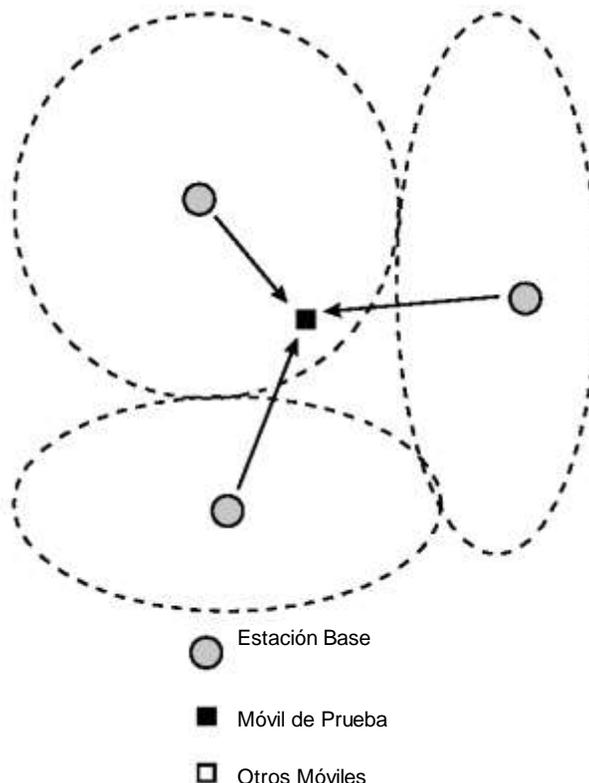


Figura 14. Una sola celda sirviendo a un solo móvil – caracterización del enlace delantero. En este caso, el móvil también está recibiendo potencias de celdas circundantes.

4.1.3. Una sola celda y muchos móviles

En esta situación, una sola estación base está sirviendo a muchos móviles dentro de su área de cobertura (incluyendo al móvil de prueba) y no hay otras estaciones base alrededor (ver figura 15). Por esto, todos los móviles están recibiendo sus respectivas potencias del canal de tráfico hacia delante de la estación base, pero esas potencias de canal de tráfico representan interferencia al móvil de prueba. La ecuación 7 se puede modificar para incluir este término de interferencia adicional; esto es la ecuación

$$\frac{E_c}{I_0} = \frac{\alpha_0 P_0(\theta_0) L_0(\theta_0, d_0) G}{I_b + I_n + I_m + N} \quad \text{Ec. 11.}$$

donde I_m es la potencia del canal de tráfico total (de la estación base anfitriona) recibida por el móvil de prueba (el cual está midiendo la E_c/I_0). En otras palabras, I_m está dada por la ecuación 12:

$$I_m = GL_0(\theta_0, d_0) \sum_{j=1}^J T_j(\theta_0) \quad \text{Ec. 12.}$$

donde $T_j(\theta_0)$ es el ERP del canal de tráfico hacia delante proyectado por el móvil j pero radiado en dirección θ_0 hacia el móvil de prueba (también designado como móvil 0).

$T_j(\theta_0)$ puede ser interpretado como el ERP del canal de tráfico proyectado por el móvil j pero interceptado por el móvil 0. Note que J es el número total de móviles que están siendo atendidos por la estación base en cuestión.

En este caso, I_m no es determinístico. Debido al control de potencia hacia adelante, la estación base está constantemente ajustando su potencia de transmisión sobre un canal de tráfico en particular. Dado que la potencia de cada canal de tráfico hacia delante (p.e. T_j) es aleatorio, la suma de las potencias de todos los canales de tráfico también es aleatoria. En la practica, se puede asumir un valor nominal para I_m .

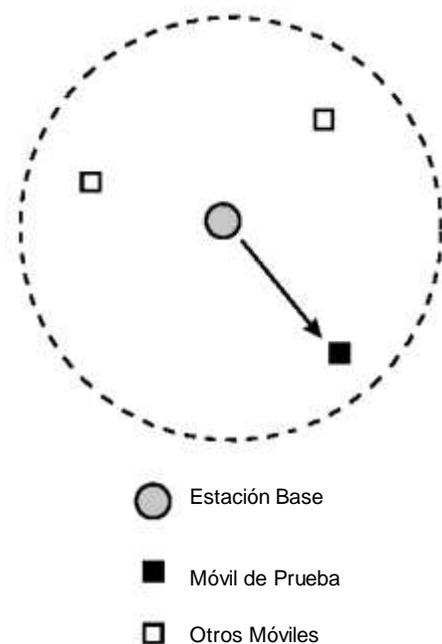


Figura 15. Una sola estación base atendiendo muchos móviles – caracterización del enlace hacia delante.

4.1.4. Muchas celdas y muchos móviles

En este caso, hay muchas celdas atendiendo a muchos móviles en sus respectivas áreas de cobertura (ver figura 16). La E_c/I_0 del móvil de prueba está dado por la ecuación 13:

$$\frac{E_c}{I_0} = \frac{\alpha_0 P_0(\theta_0) L_0(\theta_0, d_0) G}{I_b + I_n + I_o + I_m + I_t + N} \quad \text{Ec. 13.}$$

Para incluir los términos de interferencia I_b , I_n , I_o , I_m , y N descritos en secciones anteriores, la ecuación (4.21) tiene un término de interferencia adicional I_t en el denominador. I_t es la potencia de canal de tráfico total (recibida en el móvil de prueba) de todas las otras estaciones base. En otras palabras, I_t está dada por la ecuación 14:

$$I_t = G \sum_{k=1}^K X_k(\theta_k) L_k(\theta_k, d_k) \quad \text{Ec. 14.}$$

donde $X_k(\theta_k)$ es el ERP del canal de tráfico total de la estación base k . La ecuación 14 es simplemente una suma de todas la potencias del canal de tráfico (recibida en el móvil de prueba) de todas las otras estaciones base (excluyendo la estación base anfitriona $k = 0$). Se puede ver que K designa el número total de celdas o sectores en el sistema. Ya que $X_k(\theta_k)$ es el ERP del canal de tráfico total de la estación base k , este está dado por la siguiente sumatoria, ecuación 15:

$$X_k(\theta_k) = \sum_{j=1}^{J_k} T_{k,j}(\theta_k) \quad \text{Ec. 15.}$$

La ecuación (4.23) expresa que por cada estación base k , se suman los ERP del canal de tráfico hacia delante de todos los móviles pertenecientes a la estación base k . Para la estación base k , $T_{k,j}(\theta_k)$ es el ERP del canal de tráfico proyectado por el móvil j pero radiado en la dirección θ_k hacia el móvil de prueba. En otras palabras, $T_{k,j}(\theta_k)$ puede ser interpretada como el ERP del canal del tráfico transmitido por la estación base k proyectado por el móvil j de esa estación base pero interceptado por el móvil de prueba (el cual está midiendo la E_c/I_0). En la ecuación 15 se asume que todos los móviles están atendidos por la estación base k , y J_k es el número total de móviles atendidos por la estación base k . De nuevo, debido al control de potencia hacia delante, $T_{k,j}(\theta_k)$ es aleatorio, y así $X_k(\theta_k)$ es aleatoria, y en consecuencia I_t también es aleatorio.

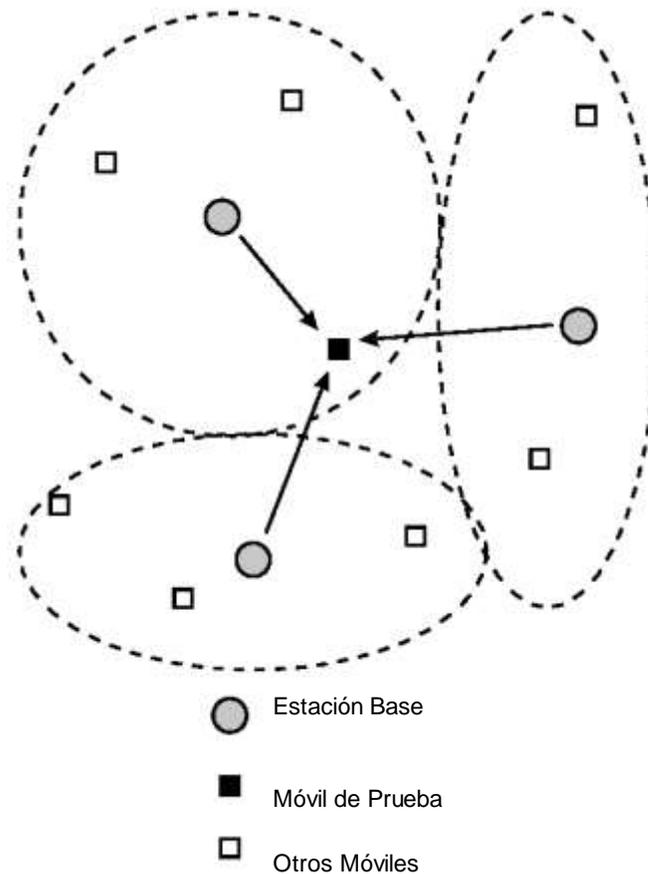


Figura 16. Muchas celdas atendiendo muchos móviles – caracterización del enlace delantero

4.2. ANÁLISIS DEL ENLACE DE REVERSA

Ya que no hay canal piloto sobre el enlace de reversa, únicamente se centra la atención en la E_b/N_0 del canal de tráfico de reversa. El enlace E_b/N_0 se traslada directamente a BER, el cual tiene implicaciones sobre la calidad del canal de voz sobre el enlace de reversa. Para ilustrar el concepto del análisis del enlace sin introducir factores complicados, no se considerará los efectos de la diversidad de ganancia en situaciones de soft/softer handoff. Al desarrollar una expresión para la E_b/N_0 de reversa, se consideran tres diferentes casos aumentando la complejidad:

- Una sola celda y un solo móvil;
- Una sola celda y muchos móviles;
- Muchas celdas y muchos móviles.

Canal de tráfico

4.2.1. Una sola celda y un solo móvil

Para una celda que atiende a un solo móvil, la expresión de E_b/N_0 del enlace de reversa está dada por la ecuación 16:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{T' L'_0(\theta_0, d_0) G_0(\theta_0)}{I'_n + N} \left(\frac{W}{R} \right) \quad \text{Ec. 16.}$$

- T' = ERP del canal de tráfico hacia atrás del móvil de prueba; se asume que el patrón transmitido es omnidireccional.
- $L'_0(\theta_0, d_0)$ = pérdida de trayecto hacia atrás del móvil de prueba en dirección θ_0 a la estación base anfitriona a la distancia d_0 .
- $G_0(\theta_0)$ = ganancia de antena receptora de la estación base anfitriona en la dirección θ_0 al móvil de prueba.
- I'_n = potencia recibida en la estación base anfitriona de otras fuentes de interferencia originadas por sistemas diferentes a CDMA
- N = potencia de ruido térmico.
- (W/R) = Ganancia de procesamiento.

Se observa que únicamente hay un móvil que está siendo atendido por la estación base (ver figura 17), no hay ninguna contribución a la interferencia del enlace hacia de reversa (excepto jammers y ruido térmico). Por lo tanto, la ecuación 16 únicamente tiene dos términos de interferencia I'_n y N en el denominador.

4.2.2. Una sola celda y muchos móviles

Si existen muchos móviles que están siendo atendidos por una sola celda (ver figura 18), entonces se está adicionando un término más de interferencia. Este término adicional de interferencia es debido al hecho de que los móviles (otros diferentes al móvil de prueba) también están transmitiendo sobre el enlace hacia de reversa. Esas potencias adicionales sobre el enlace de reversa están interfiriendo con el canal de tráfico de reversa del móvil de prueba. La E_b/N_0 del enlace de reversa en este caso está dada por la ecuación 17.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{T' L'_0(\theta_0, d_0) G_0(\theta_0)}{I'_m + I'_n + N} \left(\frac{W}{R} \right) \quad \text{Ec. 17.}$$

El término adicional I'_m en el denominador es la interferencia total introducida por las transmisiones del canal de tráfico hacia atrás de todos los móviles (otros diferentes al móvil de prueba o móvil 0). El valor de I'_m está dado por la ecuación 18.

$$I'_m = \sum_{j=1}^J T'_j L'_j(\theta_j, d_j) G_0(\theta_j) \quad \text{Ec. 18.}$$

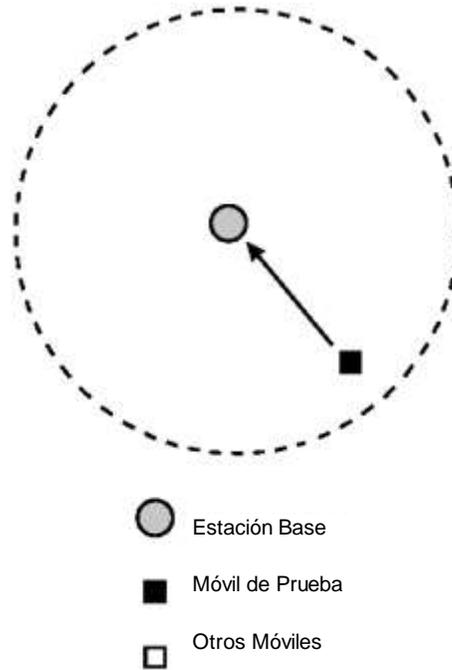


Figura 17. Una sola celda atendiendo a un solo móvil – caracterización del enlace hacia atrás.

donde T'_j es el ERP del canal de tráfico hacia atrás del móvil j . $L'(\theta_j, d_j)$ es la pérdida de trayecto del móvil j en la dirección θ_j de vuelta a la estación base anfitriona a la distancia d_j (p.e., la pérdida de trayecto hacia atrás entre el móvil j y la estación base anfitriona es una función de la dirección θ_j y la distancia d_j del móvil). $G_0(\theta_j)$ es la ganancia de antena receptora de la estación base anfitriona (estación base 0) en la dirección θ_j al móvil j . Efectivamente, I'_m es la interferencia total del enlace hacia atrás introducida por los móviles atendidos por la estación base anfitriona.

Debido al control de potencia del enlace hacia atrás, T'_j está cambiando dinámicamente para mantener una calidad aceptable del enlace hacia atrás para el móvil j . Así, T'_j es aleatorio, y en consecuencia I'_m también es aleatorio. En la práctica, se debe asumir un valor nominal para I'_m .

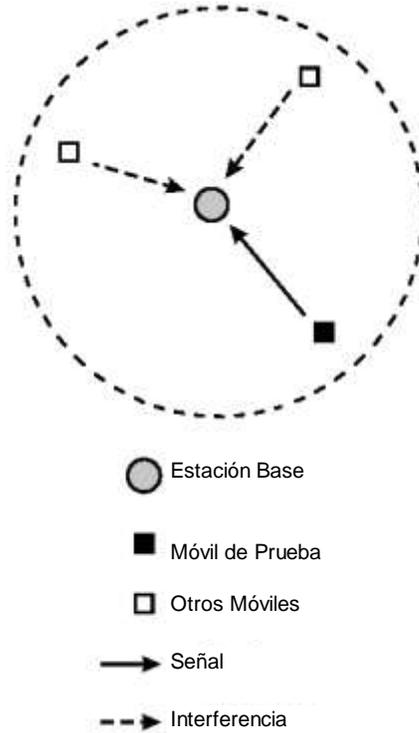


Figura 18. Una sola celda atendiendo a muchos móviles – caracterización del enlace de reversa.

4.2.3. Muchas celdas y muchos móviles

En el caso donde hay muchas celdas y muchos móviles (ver figura 19), existirán móviles (que están siendo atendidos por otras celdas) que interferirán con el canal de tráfico hacia atrás del móvil de prueba. Esos otros móviles introducen un término adicional de interferencia en el denominador. El E_b/N_0 del enlace hacia atrás en este caso está dado por la ecuación 19.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{T' L'_0 (\theta_0, d_0) G_0(\theta_0)}{I'_m + I'_t + I'_n + N} \left(\frac{W}{R} \right) \quad \text{Ec. 19.}$$

El término adicional I'_t en el denominador es la interferencia total introducida por las transmisiones del canal de tráfico hacia atrás de todos otros móviles que no están siendo atendidos por la estación base anfitriona. I'_t es la interferencia total introducida en el enlace hacia atrás por los móviles atendidos por otras estaciones base (estaciones base diferentes a la estación base anfitriona). I'_t está dada por la ecuación 20.

$$I'_t = \sum_{k=1}^K Y_k \quad \text{Ec. 20.}$$

donde Y_k es la potencia del canal de tráfico total (sobre el enlace hacia atrás) recibido de esos móviles atendidos por la estación base k . Se puede observar que la sumatoria es desde 1 a K , excluyendo la estación base anfitriona 0, y K es el número total de estaciones base o sectores. Se puede obtener Y_k sumando las potencias del canal de tráfico recibidas de esos móviles atendidos por la estación base k ; esto es, para la estación base k , según la ecuación 21.

$$Y_k = \sum_{j=1}^{J_k} T'_{k,j} L'_{k,j}(\theta_{k,j}, d_{k,j}) G_0(\theta_{k,j}) \quad \text{Ec. 21.}$$

donde para la estación base k , $T'_{k,j}$ es el ERP del canal de tráfico hacia atrás del móvil j . De nuevo, para la estación base k , $L'_{k,j}(\theta_{k,j}, d_{k,j})$ es la pérdida de trayecto hacia atrás del móvil j en la dirección $\theta_{k,j}$ de vuelta a la estación base anfitriona a una distancia $d_{k,j}$; esto es, la pérdida de trayecto hacia delante entre el móvil j (atendido por la estación base k) y la estación base anfitriona es una función de la dirección $\theta_{k,j}$ y de la distancia $d_{k,j}$ del móvil. $G_0(\theta_{k,j})$ es la ganancia de antena receptor de la estación base anfitriona (estación base 0) en al dirección $\theta_{k,j}$ al móvil j (atendido por la estación base k).

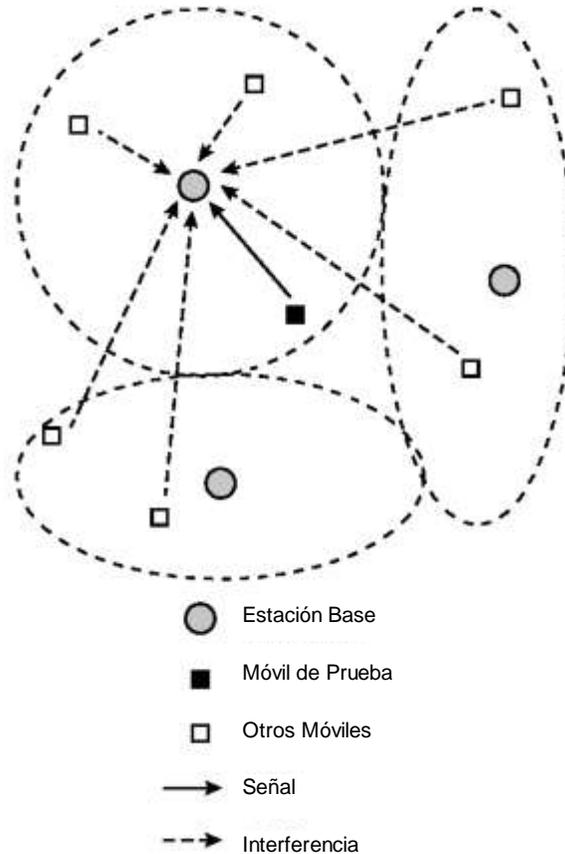


Figura 19. Muchas celdas atendiendo a muchos móviles – caracterización del enlace de reversa.