



**ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO**

**FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCION**

**DEL TITULO EN**

**INGENIERIA ELECTRONICA**

**“APLICACIÓN DE ALGORITMOS DE RECEPTOR  
POR SOFTWARE PARA EL ESTÁNDAR IS-95  
CDMA”**

**MARTHA LILIANA CAIZA LOPEZ**

**SANGOLQUI – ECUADOR**

**2005**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento a Dios por las bendiciones recibidas.

A mi padre por ser un hombre admirable y un verdadero caballero en tiempos difíciles.

A mi mami y hermanos por ser una familia llena de virtudes.

Al Ing. Diego Balseca y al Ing. Fabián Saénz por la confianza depositada en mi.

A mi Ing. Alfredo Morales por cada una de sus palabras sabias, por su amor y paciencia.

A los profesores de mi querido Central Técnico por las enseñanzas recibidas.

## **DEDICATORIA**

A mi padre por su ejemplo de integridad, esfuerzo y amor.

A mi madre por la ternura, alegría y cuidados de cada día.

A Daniel por ser un angelito en mi vida.

## INDICE

<b>1 INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ¿QUE ES EL ESTÁNDAR IS-95 CDMA? .....	1
1.3 ¿QUE ES SOFTWARE RADIO ? .....	3
1.4 PROGRAMAS DESARROLLADOS .....	4
<b>2 ESTANDAR IS-95 CDMA .....</b>	<b>6</b>
2.1. CONCEPTOS GENERALES .....	6
2.1.1 Técnica de DS-SS .....	6
2.1.2 Funciones Ortogonales.....	7
2.2.1.1 Códigos de Pseudoruido PN .....	7
2.2.2.1 Códigos de Walsh .....	7
2.2.3.1 Ganancia del proceso .....	9
2.1.3 Autocorrelación.....	9
2.1.4 Correlación cruzada .....	10
2.1.5 Codificación de canal.....	11
2.5.1.1 Códigos de bloques .....	12
2.5.2.1 Códigos convolucionales .....	12
2.5.3.1 Intercalado.....	14
2.2. MODULACION .....	14
2.2.1 Modulación de fase binaria BPSK (Binary Phase-Shift Keying) .....	14
2.2.2 Modulación de fase cuaternaria QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying) .....	15
2.3. DESVANECIMIENTO .....	16
2.3.1 Pérdidas de propagación .....	17
2.1.1.3 Espacio Libre .....	17
2.1.2.3 Lee.....	18
2.1.3.3 Hata .....	18
2.3.2 Desvanecimiento por multitrayecto de Rayleigh .....	19
2.2.1.3 Efecto Doppler .....	20
2.4. CAPACIDAD DEL CANAL.....	21

2.4.1 Efectos de carga .....	22
2.4.2 Factor de reuso de frecuencia.....	22
2.4.3 Efectos de la actividad de voz.....	23
2.5. ENLACE DE IDA .....	24
2.5.1 Canal piloto .....	24
2.5.2 Canal de sincronización .....	25
2.5.3 Canal de paging.....	25
2.5.4 Canal de tráfico .....	26
2.6. ENLACE DE RETORNO.....	28
2.6.1 Canal de acceso.....	28
2.6.2 Canal de tráfico .....	28
2.7. CONTROL DE POTENCIA.....	29
2.7.1 Control de Potencia en el enlace de retorno.....	30
2.1.1.7 Control de potencia de lazo abierto.....	30
2.1.2.7 Control de potencia de lazo cerrado.....	31
2.7.2 Control de potencia en el enlace de ida.....	31
2.8. TRASPASOS .....	31
2.8.1 Softer handoff .....	32
2.8.2 Soft handoff.....	32
2.8.3 Hard Handoff .....	33
2.9. RECEPCION POR DIVERSIDAD .....	33
2.9.1 Diversidad Macroscópica.....	33
2.9.2 Diversidad Microscópica .....	34
2.2.1.9 Diversidad de espacio .....	34
2.2.2.9 Diversidad de tiempo .....	34
2.2.3.9 Diversidad de frecuencia.....	34
2.2.4.9 Diversidad de polarización.....	34
2.9.3 Diversidad multitrayecto.....	35
2.10. PROCESAMIENTO DE LA LLAMADA EN IS-95 CDMA .....	36
2.10.1 Estado de inicialización .....	37
2.10.2 Estado libre del sistema.....	37
2.10.3 Estado de acceso al sistema .....	38
2.10.4 Estado del canal de tráfico .....	38

<b>3 CONSIDERACIONES DE HARDWARE PARA EL RECEPTOR IS-95 CDMA .....</b>	<b>39</b>
3.1 INTRODUCCION .....	39
3.2 HARDWARE DEL RECEPTOR IS-95 CDMA .....	40
3.2.1 Antena .....	41
3.2.2 Filtros .....	42
3.2.3 Extracción de información .....	43
<b>4 CONSIDERACIONES DE HARDWARE DEL RECEPTOR GPS .....</b>	<b>45</b>
4.1 INTRODUCCION.....	45
4.2 ANTENA.....	46
4.3 CONSIDERACION DE LA AMPLIFICACION .....	46
4.4 CONSIDERACIÓN DE LAS FRECUENCIAS UTILIZADAS .....	47
4.5 CONSIDERACION DEL FILTRO UTILIZADO .....	48
4.6 SELECCIÓN DE LA FRECUENCIA DE MUESTREO .....	49
4.6.1 Frecuencia de muestreo para la obtención de datos .....	49
4.6.2 Efecto de exactitud de la frecuencia de muestreo.....	50
4.6.3 Frecuencia RF bajada/convertida para la recolección de datos.....	50
4.7 DIGITALIZACION DIRECTA DE LOS DATOS COLECTADOS .....	51
4.8 DIGITALIZACION DE LA SEÑAL COLECTADA POR EL RECEPTOR	
51	
<b>5 TECNICAS DE DETECCION POR SOFTWARE EN EL RECEPTOR IS-95 CDMA .....</b>	<b>53</b>
5.1 DEFINICION DE SOFTWARE RADIO .....	53
5.2 CARACTERISTICAS DE SOFTWARE RADIO.....	53
5.3 PRINCIPIOS DEL DISEÑO DE SOFTWARE RADIO.....	54
5.3.1 Sistemas de ingeniería.....	55
5.3.2 Planificación de radio frecuencia.....	55
5.3.3 Selección de la conversión análoga a digital y la conversión digital a análoga. ....	55
5.3.4 Selección de la arquitectura del software.....	56
5.3.5 Selección del procesamiento digital de la señal de la arquitectura del hardware.....	56
5.4 ESTRUCTURA DE SOFTWARE RADIO.....	56
5.4.1 Antena .....	57

5.4.2 Filtro.....	57
5.4.3 Amplificador.....	57
5.4.4 Mezclador.....	57
5.4.5 Demodulador.....	57
5.4.6 Conversor Análogo Digital.....	58
5.4.7 Procesador.....	58
5.4.7.1 Procesador de señal de propósito general.....	58
5.4.7.2 Procesador FPGA.....	58
5.4.7.3 Procesador ASIC.....	59
5.5 ADQUISICION DE LA SEÑAL MEDIANTE SOFTWARE.....	59
5.5.1 Descripción del código C/A.....	59
5.5.2 Adquisición del código C/A.....	60
5.6 PRESENTACION DE RESULTADOS.....	63
5.6.1 Resultados de la simulación del forward link del estándar IS-95 CDMA.....	63
5.6.2 Salida de la simulación.....	64
5.6.3 Resultados de la simulación del programa de adquisición del punto de inicio del código C/A y la frecuencia de portadora utilizado en el receptor por software de GPS.....	66
5.6.4 Salida de la simulación.....	67
<b>6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>69</b>
6.1 CONCLUSIONES:.....	69
6.2 RECOMENDACIONES:.....	72
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXO 1: Acrónimos.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO 2: Código de programas desarrollados en Matlab 7.0.....</b>	<b>91</b>
a. CÓDIGO DE PROGRAMA QUE GRAFICA LA AUTOCORRELACION DE UN VECTOR DADO.....	91
b. CÓDIGO DE PROGRAMA QUE CALCULA LA CORRELACIÓN DE DOS CÓDIGOS DE WALSH DADOS.....	93
c. CÓDIGO DE PROGRAMA QUE REALIZA LA CODIFICACIÓN CONVOLUCIONAL, SE UTILIZA UN REGISTRO DE DESPLAZAMIENTO DE DOS ETAPAS.....	96
d. CÓDIGO DE PROGRAMA QUE REALIZA EL INTERLEAVING DE UNA VECTOR DE DATOS BINARIOS DADO.....	98

e. CÓDIGO DE PROGRAMA QUE REALIZA LA SIMULACIÓN DEL ENLACE DE IDA DEL ESTÁNDAR IS-95 CDMA .....	100
f. CÓDIGO DE PROGRAMA BASADO EN LA SIMULACIÓN DESARROLLADA POR TSUI PP. 163-164. ESTE PROGRAMA GENERA LOS 32 CÓDIGOS C/A PARA LOS SATÉLITES GPS.....	108
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>112</b>

## PROLOGO

El presente proyecto describe al estándar IS-95 CDMA como un sistema de espectro ensanchado que se compone de canales físicos y lógicos. Los canales físicos son llamados enlace de ida (*forward link*) y enlace de vuelta (*reverse link*), los cuales constan de canales lógicos codificados mediante secuencias de ruido pseudoaleatorio PN y códigos de Walsh.

Se analizan las características más importantes del sistema IS-95 CDMA de las cuales se pueden mencionar la inmunidad frente a interferencias entre usuarios que comparten el canal, detección de errores, capacidad del canal, etc.. Se desarrolla la simulación en Matlab 7.0 del enlace de ida del estándar IS-95 CDMA en el que los datos binarios de entrada pasan por bloques de *interleaving*, codificación convolucional, ensanchamiento por el código de Walsh y ruido del canal. Luego de ello se realizarán pruebas variando el número de errores que el sistema desarrollado puede tolerar, para esto la información se recuperará mediante los bloques de desensanchamiento del código de Walsh, *deinterleaving* y algoritmo de Viterbi el cual realiza la recuperación de los datos convolucionados.

Luego de ello se estudian las características del hardware del receptor GPS y la recepción de los datos mediante software. Se comparan las características de hardware del receptor GPS y del receptor IS-95 CDMA así como también el modo utilizado para la detección de la señal en cada uno de ellos.

Se emplea la simulación en Matlab desarrollada por Yen Tsui el cual tiene como entrada una señal binaria y consta de una etapa de adquisición y una de *tracking*. En la etapa de adquisición se obtiene el inicio del código C/A (código de pseudoruido aleatorio asignado a cada satélite GPS) y la frecuencia de portadora, estos datos pasan a la etapa de

*tracking* y su salida proveerá los datos detectados expresados en ángulos los cuales serán transformados a sistema binario para obtener los datos requeridos.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCION

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Para la Facultad de Ingeniería Electrónica es significativo que se realicen proyectos donde se investiguen y estudien nuevas tecnologías que nos permitan situarnos en el actual mercado de las Telecomunicaciones y conocer la versatilidad que éstos presentan, así como también los nuevos servicios y características que pueden proveer.

El presente trabajo está dividido en seis capítulos donde consta el marco teórico en el que se fundamenta nuestro estudio. El capítulo 2 expondrá los principios y características del estándar IS-95 CDMA. El capítulo 3 analizará las principales características y funcionamiento del esquema que compone el hardware del receptor del estándar IS-95 CDMA. El capítulo 4 estudiará las principales características y funcionamiento del hardware del receptor GPS. El capítulo 5 realizará una introducción a las técnicas de detección por software en los receptores de comunicaciones móviles. En el capítulo 6 se analizará y comparará las técnicas de recepción utilizadas en un sistema de comunicaciones móviles y se realizará las conclusiones de este estudio.

El presente trabajo incluye el anexo 1 donde consta la lista de los acrónimos utilizados. En el anexo 2 se incluye el código de los programas desarrollados en Matlab 7.0.

### 1.2 ¿QUE ES EL ESTÁNDAR IS-95 CDMA?

El estándar IS-95 CDMA es un sistema de tercera generación de acceso múltiple por

división de código y que utiliza las técnicas de espectro ensanchado. Debido a que la información de usuario antes de ser enviada se codifica y ensanchada mediante códigos ortogonales de pseudoruido aleatorio permite que CDMA tenga gran inmunidad a interferencias frente a otros sistemas de comunicaciones móviles. El código ensanchador trabaja a una velocidad de 1.2288 Mcps. El ancho de banda utilizado por este sistema es con un ancho de banda de 1.228 MHz.

IS-95 CDMA consta de dos canales, el canal de ida o forward link que va desde la estación base al receptor móvil y el canal de retorno o reverse link que va desde el receptor móvil hasta la estación base.

El canal de ida consta de los siguientes canales: piloto, sincronización, paging<sup>1</sup> y de tráfico. El canal piloto está identificado mediante el código de Walsh 0 y realiza la comparación de los niveles de potencia de las diferentes estaciones base y decide un handoff,<sup>2</sup> provee al móvil de la referencia de tiempo y fase. El canal de sincronismo está identificado por el código de Walsh 32 y tiene información acerca de la sincronización del sistema y contiene el índice de offset<sup>3</sup> de la secuencia PN que identifica a cada estación base. El canal de paging puede estar identificado mediante los códigos de Walsh del 1 al 7 y tiene información de intentos de acceso, identificación de los números de los cuales se recibe las llamadas, número de mensajes en espera etc. Los canales de tráfico llevan la información de usuario y pueden trabajar con dos tipos de velocidades Rate I (1200,2400,4800 y 9600 bps) y Rate II (1800,3600,7200 y 14400 bps). Los canales de tráfico pueden estar identificados con los códigos de Walsh del 8 al 63 (excepto el canal 32).

Para proveer máxima inmunidad a interferencias se codifica la información del canal de tráfico mediante el paso por varios bloques como son: codificador convolucional, repetición de símbolo e interleaving. El control de potencia se realiza a una velocidad de 800 bps y esta señal es multiplexada con la información de usuario, esto permite minimizar la interferencia entre usuarios que pertenecen a la misma celda.

---

<sup>1</sup> Paging: paginación

<sup>2</sup> Handoff: Traspaso del radio de acción de una estación base o otro

<sup>3</sup> Offset: compensación

El enlace de retorno o reverse link va desde el móvil hasta la estación base y consta de dos tipos de canales lógicos: canales de acceso y canales de tráfico. El canal de acceso es usado por la estación móvil para comunicarse con la estación base, cuando el móvil aún no tiene un canal de tráfico asignado. La información enviada es no coherente por lo que se asigna un código de Walsh a cada grupo de 6 símbolos binarios de información. El canal de tráfico es usado para enviar los datos y voz de usuario, adicionalmente a esto, lleva información de liberación de la llamada cuando se detecta una potencia muy baja, números de origen, destino y conectado etc.

### **1.3 ¿QUE ES SOFTWARE RADIO?**

Software radio se refiere a una clase de radios reprogramables o reconfigurables, es decir con los mismos componentes de hardware del radio se podían desempeñar diferentes funciones a diferentes tiempos. El Forum radio determinado por software SDR (Software Defined Radio) define al software radio como un radio que acepta información de tráfico y control completamente programable y soporta un amplio rango de frecuencias, interfaces aéreas ( CDMA IS-95, GPS, GSM, etc.) y aplicaciones de software.

Las características más importantes de Software Radio son que las etapas de software desarrollan el procesamiento de la señal y el control de los parámetros del radio tales como frecuencia, modulación y potencia, provee flexibilidad pues si se requiere realizar un cambio en algún parámetro del sistema se lo realiza en el ámbito de software sin tener que realizar una reconfiguración o rediseño en el hardware, permite introducir nuevos servicios o actualizar los existentes.

Las técnicas de adquisición de la señal mediante software han sido probadas sobre el receptor GPS. La señal GPS se compone de dos tipos de señal: gruesa/adquisición C/A (Coarse/Acquisition) y los códigos de precisión P los cuales son códigos de ruido pseudoaleatorio. El más importante es C/A el cual es un código de bi-fase con un chip rate de 1.023 MHz y tiene un ancho de banda de 2.046 MHz.

Cuando es usado un receptor por software, la adquisición es usualmente desarrollada sobre un bloque de datos. El concepto básico de adquisición es desensanchar la señal de

entrada y encontrar la frecuencia de portadora, esto se consigue con la obtención de inicio de código C/A y para ello el código C/A localmente generado en el receptor GPS debe ser digitalizado y debe multiplicarse punto a punto con el dato de entrada. Luego de ello la FFT es ejecutada sobre este producto para encontrar la frecuencia. La amplitud más alta de salida en el dominio de la frecuencia, puede ser considerada como el resultado deseado.

El algoritmo de adquisición usa la correlación para adquirir la señal y éste es adaptado para la aproximación del receptor por software.

#### 1.4 PROGRAMAS DESARROLLADOS

En el anexo 2 constan los siguientes programas desarrollados y probados en Matlab 7.0

autocor.m: Este programa realiza la autocorrelación de un vector dado. Desarrollado por Martha Caiza.

correla\_cruzada.m: Este programa realiza la correlación cruzada de dos códigos de Walsh escogidos. Desarrollado por Martha Caiza.

codigo\_convolutacional.m: Este programa simula el bloque de código convolutacional utilizado en el enlace de ida del estándar IS-95 CDMA. Desarrollado por Martha Caiza.

Interleaving.m: Este programa simula el bloque de interleaving utilizado en el enlace de ida del estándar IS-95 CDMA. Desarrollado por Martha Caiza.

forwardlink\_ruido.m: Este programa simula el canal de ida del estándar IS-95 CDMA, el cual consta de varias etapas como son: bloque de código convolutacional, interleaving, ensanchamiento mediante el código de Walsh, ruido del canal y detección de la información enviada por el transmisor. Desarrollado por Martha Caiza.

adquisición\_ca.m: Este programa encuentra el punto de inicio de código C/A y la frecuencia de portadora de los datos de entrada. Desarrollado por Yen Tsui y modificado

por Martha Caiza.

codegen.m: Este programa encuentra uno de los 32 códigos C/A asignados a cada uno de los satélites para GPS que están órbita. Desarrollado por Yen Tsui.

Digitizg.m Este programa digitaliza el código C/A localmente generado en el receptor. Desarrollado por Yen Tsui.

## CAPÍTULO II

### ESTANDAR IS-95 CDMA

#### 2.1. CONCEPTOS GENERALES

Acceso múltiple por división de código *CDMA* (*Code Division Multiple Access*), es un esquema de acceso múltiple basado en técnicas de comunicación de espectro ensanchado de secuencia directa DS-SS (*Direct Sequence Spread Spectrum*), en la que se expande la señal del mensaje hasta un ancho de banda relativamente grande por medio del uso de códigos únicos, ortogonales entre sí, que permiten que varios usuarios compartan los mismos recursos del canal como son el tiempo y la frecuencia.

##### 2.1.1 Técnica de DS-SS

Para expandir la forma de onda del mensaje original se lo multiplica por una señal de pseudo-ruido PN (Pseudo Noise). Mediante la técnica de DS-SS cada bit de información se representa por una secuencia de bits codificadores llamados chips. Los códigos dispersores tienen una secuencia conocida, no llevan información y deben estar caracterizados por:

La correlación cruzada debe ser cero o muy pequeña, esta característica garantiza que los códigos sean ortogonales entre sí.

Cada secuencia debe tener un número igual de 1s y de -1s, o el número de 1s difiere del número de -1s por al menos uno.

## 2.1.2 Funciones Ortogonales

Las funciones ortogonales son usadas para mejorar la eficiencia del ancho de banda de un sistema SS. El sistema IS-95 (Interim Standard 95) CDMA usa funciones ortogonales en el canal de ida para conseguir el código dispersor<sup>4</sup> (canalización de usuarios) y en el canal de retorno para la modulación ortogonal.

### 2.2.1.1 Códigos de Pseudoruido PN

Una secuencia ensanchada ideal debería ser aleatoria. Pero se requiere que tanto el transmisor como el receptor tengan una copia de este flujo de bits, por tanto se necesita una forma predecible para generar el mismo flujo de bits en el transmisor y receptor. Este requerimiento es conocido como generador PN, el cual producirá una secuencia periódica que se repite eventualmente pero que parece aleatoria. Los códigos PN son generados a partir de registros de desplazamiento con retroalimentación lineal.

$$L = 2^N - 1 \quad (2.1)$$

Donde:

N = número de etapas del registro

L = longitud máxima del código.

A cada estación base se le asigna un código PN que se superpone al código Walsh. Se hace esto para aislar las diferentes estaciones base. El código PN usado en el canal de ida es llamado “corto” y usa 15 etapas del registro.

### 2.2.2.1 Códigos de Walsh

Los códigos de Walsh son los códigos ortogonales más comunes usados en

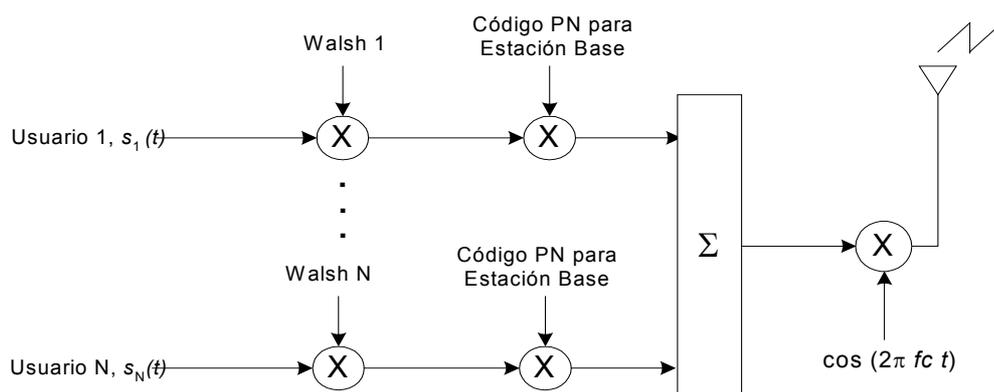
---

<sup>4</sup> Código dispersor: código ensanchador

aplicaciones de CDMA. Un conjunto de códigos de Walsh de longitud  $n$  consiste en una matriz de  $n \times n$ , generada a partir de la matriz de Hadamard (2.2). Los códigos de Walsh se usan en el canal de ida (forward link) para separar los usuarios que están transmitiendo simultáneamente. A continuación se describe el uso de los códigos de Walsh, en el canal de ida:

$$H_{2N} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & \overline{H}_N \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

- El dato de entrada del usuario es multiplicado por un código de Walsh.
- El dato de usuario es entonces ensanchado por un código PN para la estación base y transmitido sobre la portadora.
- En el receptor móvil (luego que se elimina portadora) se multiplica la señal por el código PN el cual es asociado con la estación base.
- Luego se multiplica por el código Walsh para así eliminar las interferencias causadas por las transmisiones simultaneas de otros usuarios.



**Figura. 2.1. Aplicación de los códigos de Walsh y PN en la Estación Base** <sup>5</sup>

<sup>5</sup> Figura editada de GARG, Orthogonal Functions pp. 34

### 2.2.3.1 Ganancia del proceso

La ganancia de procesamiento del sistema cuantifica el grado de rechazo a la interferencia y es el número de chips de PN por cada bit de datos. Se representa por la siguiente ecuación:

$$G_p = \frac{W}{R} \quad (2.3)$$

Donde:

W es el ancho de banda final

R es el ancho de banda del mensaje en bandabase.

### 2.1.3 Autocorrelación

Autocorrelación se refiere al grado de correspondencia entre una secuencia y una réplica de la misma señal pero desplazada en el tiempo. La función de autocorrelación de una señal está definida como:

$$R_x(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) x(t + \tau) dt \quad (2.4)$$

Si se desea saber la autocorrelación de un código PN  $P_0$  y su secuencia  $P_{0,j-i}$  (donde  $i$  es el número de cambios y  $j$  es la posición de los elementos del código), se debe recorrer un elemento cada vez de la secuencia principal hasta obtener todas las secuencias posibles, entonces comparar la primera secuencia con la segunda y restar el número de no concordancias del número de concordancias.

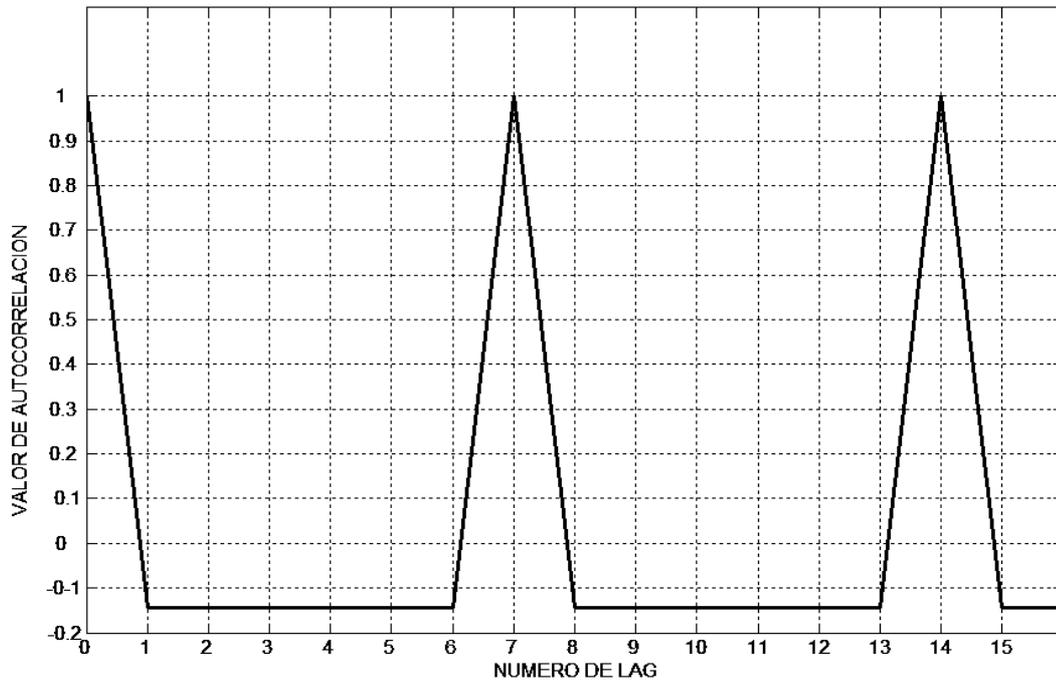


Figura. 2.2 Valor de autocorrelación vs. número de lags<sup>6</sup>

La figura 2.1 muestra la autocorrelación del código  $P_0 = [1-1 \ 1 \ 1 \ 1-1-1]$ , con su secuencia recorrida en un elemento.

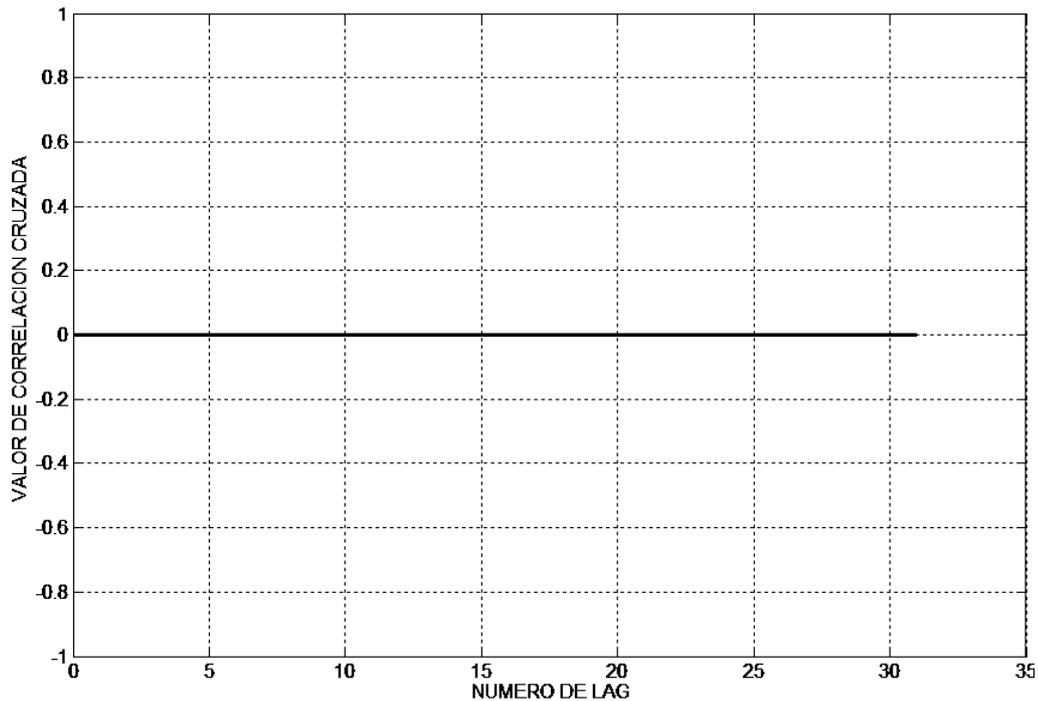
#### 2.1.4 Correlación cruzada

La función de correlación cruzada entre dos señales,  $x(t)$  y  $y(t)$ , es definida como la correlación entre las dos señales dadas.

$$R_c(t) = \int_{-T_0/2}^{T_0/2} x(t) y(t + \tau) dt \quad \text{para } -\infty < \tau < \infty \quad (2.5)$$

---

<sup>6</sup> Salida del programa autocorrelación.m , el código consta en anexo 2.



**Figura. 2.3** Correlación cruzada de dos códigos de Walsh<sup>7</sup>

La figura 2.3 muestra la correlación cruzada de dos de los códigos de Walsh generados.

### 2.1.5 Codificación de canal

Una vez que la voz es convertida en una señal digital, se necesita hacer un control de errores, para combatir los efectos perjudiciales del canal y así poder aumentar el desempeño del sistema de comunicaciones. Esta técnica se la realiza a costa del ancho de banda ocupado y/o complejidad en el proceso de la señal.

La ganancia de codificación del canal está definida como la reducción de  $E_b/N_0$  (Energía por bit por densidad de potencia de ruido en dB) requerida para conseguir una probabilidad de error especificada por el sistema codificado sobre un sistema no codificado, con la misma modulación y las mismas características.. El proceso de codificación utiliza usualmente dos clases de códigos: de bloques y convolucionales.

---

<sup>7</sup> Salida del programa `correla_cruzada.m` que realiza la correlación cruzada de dos códigos de Walsh. El código consta en el anexo 2.

La mejora de la probabilidad de error se puede interpretar como un aumento en el número de usuarios admisibles para una calidad de servicio determinada, esto es, una mejora de capacidad del sistema.

### **2.5.1.1 Códigos de bloques**

Un caso particular de los códigos de bloques es el código de redundancia cíclica CRC (Cyclic Redundancy Check) y es usado en IS-95 CDMA para indicar la calidad de cada trama transmitida. Los códigos CRC toman una entrada de longitud variable y la transforman en un código CRC de longitud fija.

EL CRC trabaja de la siguiente forma:

Cada trama de información se transforma en un largo número binario el cual se divide para un número primo (binario).

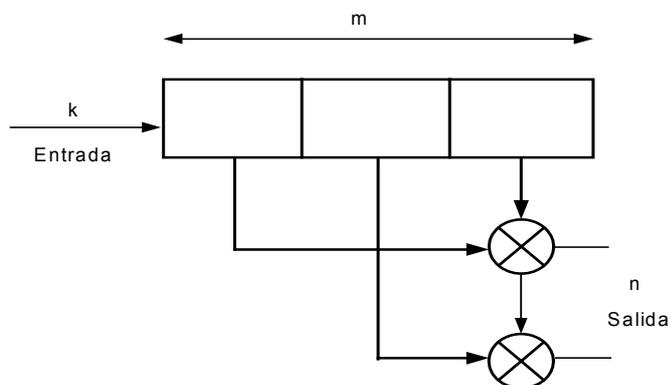
El residuo de la división anterior se añade a los bits de información como bits de redundancia.

Cuando se recibe una trama de información, el receptor realiza la misma división para el mismo número primo y compara los residuos del transmisor y del receptor.

### **2.5.2.1 Códigos convolucionales**

Los codificadores convolucionales son registros que cambian de estado de acuerdo a la secuencia de entrada. Los códigos convolucionales tienen memoria, los cuales están caracterizados por el factor  $K$ , que es el número de estados del registro. Por lo que  $n$ -bits de salida dependen no solo del valor de la entrada  $K$ , sino también del valor de  $K-1$ . Un código convolucional es generado mediante el paso de la secuencia de información a través de un registro finito que cambia de estado. En este bloque se producen  $n$  bits de salida por  $k$  bits de entrada. Entonces la tasa de velocidad del código es  $r = k/n$ . Los bits van entrando al registro y desplazándose hacia la derecha y las salidas de los sumadores se van intercalando en secuencia para obtener la secuencia codificada. Existen varios

algoritmos que se usan para realizar la decodificación de los códigos convolucionales, los más importantes son: secuencial (sequential decoding algorithm), retroalimentación (feedback decoding) y el algoritmo de Viterbi. En la figura 2.4 se muestra el codificador convolucional de  $k=1$ ,  $n=3$  y  $K=6$  etapas.



**Figura. 2.4 Codificador convolucional de tres registros de desplazamiento<sup>8</sup>**

Para cada bit de entrada el codificador convolucional descrito en la figura 2.4 obtiene dos bits codificados. Debido a que dicho codificador tiene dos sumadores de módulo 2, la entrada y salida de datos están relacionados mediante una máquina de 8 estados, los cuales

ENTRADA	ESTADO INICIAL		ESTADO FINAL		SALIDA	
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	1	1
0	0	1	0	0	1	1
1	0	1	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0	1
1	1	0	1	1	1	0
0	1	1	0	1	1	0
1	1	1	1	1	0	1

**Tabla 2.1 Relación entre la entrada y salida de datos en la máquina de estados utilizados**

La ventaja de tener tasas de velocidad bajas cuando se usa códigos convolucionales

<sup>8</sup> Registro de desplazamiento utilizado para realizar la codificación convolucional de un vector de datos binarios mediante el programa `codigo_convolutacional.m`. El código del programa consta en el anexo 2.

con modulación con desplazamiento de fase PSK (Phase Shift Keying) es que el  $E_b/N_0$ <sup>9</sup> decrece, lo que permite tener una transmisión a altas velocidades para una cantidad de potencia dada o permite reducir la potencia para una velocidad de datos. se describen en la tabla 2.1

Para el canal de ida se usa una velocidad de código igual a  $1/2$ , esto quiere decir que por cada bit de entrada se tendrá 2 de salida. En cambio para el canal de retorno se usa una tasa de  $1/3$ , pues necesita mayor capacidad para corrección de errores.

### 2.5.3.1 Intercalado

Los códigos de corrección de error son diseñados para combatir los errores que resultan del desvanecimiento y permiten mantener un nivel razonable de la señal de potencia. Durante los periodos de alto desvanecimiento de la señal, se producen ráfagas de errores que hacen que la corrección de errores sea inútil.

Interleaving<sup>10</sup> es la técnica para dar aleatoriedad a los bits dentro de un mensaje, tal que los errores a ráfagas producidos por el canal pueden ser convertidos en errores aleatorios. El bloque de intercalado utilizado en IS-95 CDMA está formado por una matriz de 32 filas y 18 columnas.

## 2.2. MODULACION

Los esquemas de modulación son usados para transmitir unidades discretas de información llamadas símbolos y la información puede estar contenida en la amplitud, fase o amplitud y fase.

### 2.2.1 Modulación de fase binaria BPSK (Binary Phase-Shift Keying)

El concepto de funcionamiento de la modulación BPSK dice que siempre que el transmisor quiera enviar un  $+1$ , éste transmitirá un cosenoide positivo y siempre que quiera

---

<sup>9</sup>  $E_b$ : energía por bit

$N_0$ : densidad espectral de potencia de ruido

<sup>10</sup> Interleaving: intercalado

enviar un -1, transmitirá un cosenoide negativo. La expresión analítica para BPSK es la siguiente.

$$\pm 1 : s_{\pm 1}(t) = \pm \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos(2\pi f t) \quad (2.6)$$

Donde:

E = energía por símbolo.

T = tiempo de duración de cada símbolo.

El ruido causa errores al momento de recibir la señal en el demodulador. El ruido  $n(t)$  es modelado como ruido blanco gaussiano aditivo AWGN (Additive White Gaussian Noise). La probabilidad que un error ha ocurrido cuando el transmisor envía un +1, pero se recibe un -1. Matemáticamente se expresa:

$$P_e = P\left(\frac{\text{recibe } -1}{\text{envía } +1}\right) P(\text{envía } +1) + P\left(\frac{\text{recibe } +1}{\text{envía } -1}\right) P(\text{envía } -1) \quad (2.7)$$

### 2.2.2 Modulación de fase cuaternaria QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying)

El enlace de ida utiliza modulación QPSK, para transmitir un bit adicional (respecto a BPSK) durante el periodo de símbolo T. Los componentes de fase y cuadratura pueden ser combinados sin causarse interferencia uno con otro, pues son ortogonales entre sí, esto se expresa de en la siguiente ecuación:

$$\int_0^{k/f} \cos(2\pi f t) \sin(2\pi f t) dt = 0 \quad (2.8)$$

### 2.3. DESVANECIMIENTO

El desvanecimiento se refiere los efectos que sufre el canal por atenuación y distorsión. Existen dos tipos de desvanecimiento:

- Desvanecimiento de frecuencia angosta: el cual afecta a las amplitudes de las señales recibidas pero no distorsiona su forma.
- Desvanecimiento de frecuencia selectiva: el cual afecta a las señales recibidas, tanto en fuerza como en forma .

También es importante considerar la relación portadora a ruido C/N (Carrier to Noise) en el receptor, el cual define cuanta potencia de la señal existe en comparación a la potencia del ruido. La relación C/N es un indicador de la calidad del sistema de comunicación.

$$\frac{C}{N} = \frac{(ERP) L_P G_R}{N} \quad (2.9)$$

Donde:

ERP = potencia radiada efectiva desde la antena transmisora y es igual a  $P_t L_c G_t$

$P_t$  = salida del amplificador de potencia del transmisor.

$L_c$  = pérdida en el cable entre el amplificador de potencia y la antena transmisora

$G_t$  = ganancia de la antena transmisora

$G_R$  = ganancia de la antena receptora

$L_p$  = pérdida de propagación en el canal

$N$  = potencia de ruido efectiva .

$N$  se considera ruido térmico y se define como:

$$N = k T W \quad (2.10)$$

Donde

$k$  = constante de Boltzmann igual a  $1.38 \times 10^{-23} \text{W/Hz/K}$

$T$  = temperatura de ruido en el receptor

$W$  = ancho de banda del sistema

### 2.3.1 Pérdidas de propagación

Los parámetros descritos en la fórmula 2.9 pueden ser seleccionados de acuerdo al desempeño que se desee del sistema, pero el parámetro  $L_P$  (pérdida de camino o propagación) no puede ser controlado mediante el diseño del sistema. Existen varios modelos para poder predecir las pérdidas de propagación, dichos modelos toman como parámetro crítico a la distancia entre el receptor y el transmisor. Los modelos de predicción más utilizados son: Espacio Libre, Lee y Hata.

#### 2.1.1.3 Espacio Libre

Este modelo no considera la acción de los obstáculos terrestres y es comúnmente usado en sistemas de comunicación satelital.

$$L_P = \frac{4 \pi \lambda^2}{d^2} \quad (2.11)$$

Donde:

$\lambda$  = longitud de onda de la señal

$d$  = distancia entre el receptor y transmisor.

### 2.1.2.3 Lee

En este modelo se toma en cuenta el camino directo (línea de vista) y los indirectos (refracción y reflexión) que puede tomar una señal al ser transmitida.

$$L_p = 1.14 \times 10^{-13} \frac{h^2}{d^{3.84}} \quad (2.12)$$

Donde:

$d$  = distancia entre receptor y transmisor

$h$  = altura de la antena de la estación base.

### 2.1.3.3 Hata

El modelo de Hata está basado en mediciones empíricas tomadas en medios urbanos.

$$L_p = -K_1 - K_2 \log(f) + 13.82 \log(h_b) + a(h_m) - [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log(d) - K_0 \quad (2.13)$$

Donde:

$f$  = frecuencia de portadora

hb = altura antena de Estación Base

hm = altura antena móvil

d = distancia entre receptor y transmisor

K0 = 0 [urbano]

K0 = 3 dB [densamente urbano]

K1 = 69.55; K2 = 26.16 [150 MHz ≤ f ≤ 1000 MHz]

K1 = 463; K2 = 33.9 [1500 MHz ≤ f ≤ 2000 MHz]

$$a(h_m) = [1.1 \log(f) - 0.7] h_m - [1.56 \log(f) - 0.8] \quad \text{Medio urbano} \quad (2.14)$$

$$a(h_m) = 3.2 [\log(11.75 h_m)]^2 - 4.97 \quad \text{Medio urbano denso}$$

### 2.3.2 Desvanecimiento por multitrayecto de Rayleigh

Este tipo de desvanecimiento ocurre cuando hay múltiples caminos indirectos entre el transmisor y el receptor y no hay un camino claramente dominante. Esto representa el peor escenario para transmisión-recepción de la señal. Los diferentes caminos de la señal reflejada hacen que dicha señal lleguen a diferentes tiempos, amplitudes y fases. La envolvente de la señal portadora recibida por un móvil es de distribución Rayleigh.

$$r(t) = \sum_{n=1}^N R_n \cos(2\pi f t - 2\pi f_{D,n} t) \quad (2.15)$$

Donde:

$N$  = número de señales reflejadas recibidas

$R_n$  = amplitud de la señal recibida

$f$  = frecuencia de la portadora

$f_{D,n}$  = frecuencia de cambio, debido al efecto Doppler cuando el usuario móvil está en movimiento.

### 2.2.1.3 Efecto Doppler

El ancho de banda del desvanecimiento es llamado Doppler ensanchado. El ancho de banda de la variación de la envolvente está determinado por la frecuencia de cambio Doppler, la cual depende de la velocidad del móvil. Si la señal está viajando paralelamente a la dirección del móvil en movimiento, entonces la frecuencia Doppler es:

$$f_{D,n} = \frac{v}{\lambda} \quad (2.16)$$

Donde:

$v$  = velocidad del móvil.

$\lambda$  = longitud de onda de la señal

La cantidad de reflexiones de la señal depende de: ángulo de llegada, frecuencia de la portadora y de la polarización de la onda incidente.

## 2.4. CAPACIDAD DEL CANAL

CDMA utiliza un vocoder que convierte la voz humana a 9.6Kpbs de flujo de señal digital. Por tanto un vocoder usa un pequeño ancho de banda para transmitir la información de la voz. Un vocoder utiliza una tasa variable, lo que significa que durante los periodos de silencio la tasa de bits baja. El vocoder IS-95 soporta cuatro tasas 9600, 4800, 2400 y 1200 Kbps, lo que permite reducir el ancho de banda efectivo requerido para la transmisión de voz, lo que se traduce en que el sistema puede incrementar el número total de canales disponibles.

La capacidad del sistema depende de varios factores como son: la demodulación del receptor, la precisión del control de potencia y la potencia de la interferencia introducida por otros usuarios en la misma celda o en celdas vecinas. Otro de los parámetros importantes para obtener mayor capacidad en el sistema, es la relación de las señales  $E_b/N_o$ , esta expresión puede ser rescrita como una relación de señal al ruido SNR (Signal to Noise Ratio), haciendo  $E_b = S T$ .

Donde:

$S$  = media de la potencia de la señal modulada

$T$  = tiempo de duración de cada bit y también es el inverso de la tasa de bit ( $R$ )

Se debe considerar que la densidad de potencia de ruido  $N_o$  se obtiene dividiendo la potencia total del ruido  $N$  sobre el ancho de banda del sistema. Con lo que se tiene que:

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{S}{N} \frac{W}{R} \quad (2.17)$$

Donde  $W/R$  es conocido como ganancia del proceso del sistema. Si se asume condiciones ideales, es decir que los niveles de potencia de todos los móviles receptados por la estación base son iguales se tiene que:

$$\frac{S}{N} = \frac{1}{M-1} \quad (2.18)$$

Resolviendo M se tiene que:

$$M = \frac{\left(\frac{W}{R}\right)}{\left(\frac{E_b}{N_o}\right)} \quad (2.19)$$

Donde M es el número total de usuarios presentes en la banda o el número de usuarios que una sola celda CDMA puede soportar. Esta celda es omnidireccional y no tiene celdas vecinas que puedan causar interferencia. Además todos los usuarios están transmitiendo el 100% del tiempo.

#### 2.4.1 Efectos de carga

Lo considerado en la ecuación (2.19), sería un caso ideal, pues en un sistema de comunicación hay muchas celdas que contienen usuarios que causan interferencia a los de las celdas adyacentes por lo que se debe tomar en cuenta el llamado efecto de carga.

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{1}{(M-1)} \frac{W}{R} \left( \frac{1}{1+\eta} \right) \quad (2.20)$$

Donde:

$\eta$  = factor de carga [0 - 100] %

#### 2.4.2 Factor de reuso de frecuencia

Una característica importante del sistema CDMA es que se puede reutilizar los mismos canales físicos de frecuencia en cada celda del grupo base N (inicialmente igual a 7), pero puede existir interferencia entre los canales. De la ecuación (2.20) se tiene que  $F = [1/(1+\eta)]$  es el factor de reuso de frecuencia y depende del tamaño del grupo es decir del

número de celdas que contenga dicho grupo. Se puede utilizar eficientemente el espectro y conseguir que un mayor número de usuarios accedan al sistema, minimizando la interferencia entre sí.

Para mejorar la capacidad del sistema se hace una sectorización de las celdas, esto consiste en dividir las según la cobertura de antenas que pueden ser de 120 grados, con lo que se reduce el número de celdas por grupo. Se consigue este aumento de capacidad a costa de la complejidad de los equipos y del aumento del número de transferencias (conmutaciones) de una frecuencia a otra, que necesitaría hacer un móvil para poder completar una llamada. Una ventaja de la sectorización es que como se subdivide una celda se tiene menos frecuencias adyacentes que causarían interferencia. Por ejemplo si inicialmente se tenía un grupo base  $N$  igual 7, con la sectorización con antenas de 120 grados se reduce el grupo base a 3, con lo que se reduce el efecto de carga en 3, a esto se le llama ganancia de sectorización  $\lambda$  y la relación  $E_b/N_o$  se vería afectada de la siguiente forma:

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{1}{(M-1)} \frac{W}{R} \left( \frac{1}{1+\eta} \right) \lambda \quad (2.21)$$

### 2.4.3 Efectos de la actividad de voz

Como se indicó en una sección anterior un vocoder utiliza una tasa variable, lo que significa que durante los periodos de silencio la tasa de bits baja, dicha tasa variable consiste en las siguientes velocidades 9600, 4800, 2400 y 1200 Kbps, por lo que el vocoder puede ajustarse al patrón de voz de cada usuario. El factor de actividad de la voz está representado por  $v$  y la relación  $E_b/N_o$  se vería afectada de la siguiente forma:

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{1}{(M-1)} \frac{W}{R} \left( \frac{1}{1+\eta} \right) \lambda \left( \frac{1}{v} \right) \quad (2.22)$$

## 2.5. ENLACE DE IDA

El canal de ida o forward link es el enlace que va desde la Estación Base hacia el móvil y consiste en 64 canales lógicos, con un ancho de banda de 1228 KHz. como se muestra en la figura 2.7 Cabe señalar que todas las estaciones base utilizan la mismas secuencias PN, pero cada una está identificada por un único offset de tiempo.



**Figura. 2.5 Asignación de códigos de Walsh en el enlace de ida**

### 2.5.1 Canal piloto

Como se observa en la figura 2.5, al canal piloto se le asigna el código Walsh 0, el cual no lleva información. El nivel de la señal piloto es constante para todas las estaciones base (4-6dB), y es utilizada para comparar la potencia de la señal entre diferentes estaciones base y así decidir el inicio de un handoff. El canal piloto provee al móvil de referencia de tiempo y fase. En la figura 2.6 se muestra la estructura del canal piloto, sincronismo y paging del canal de ida.

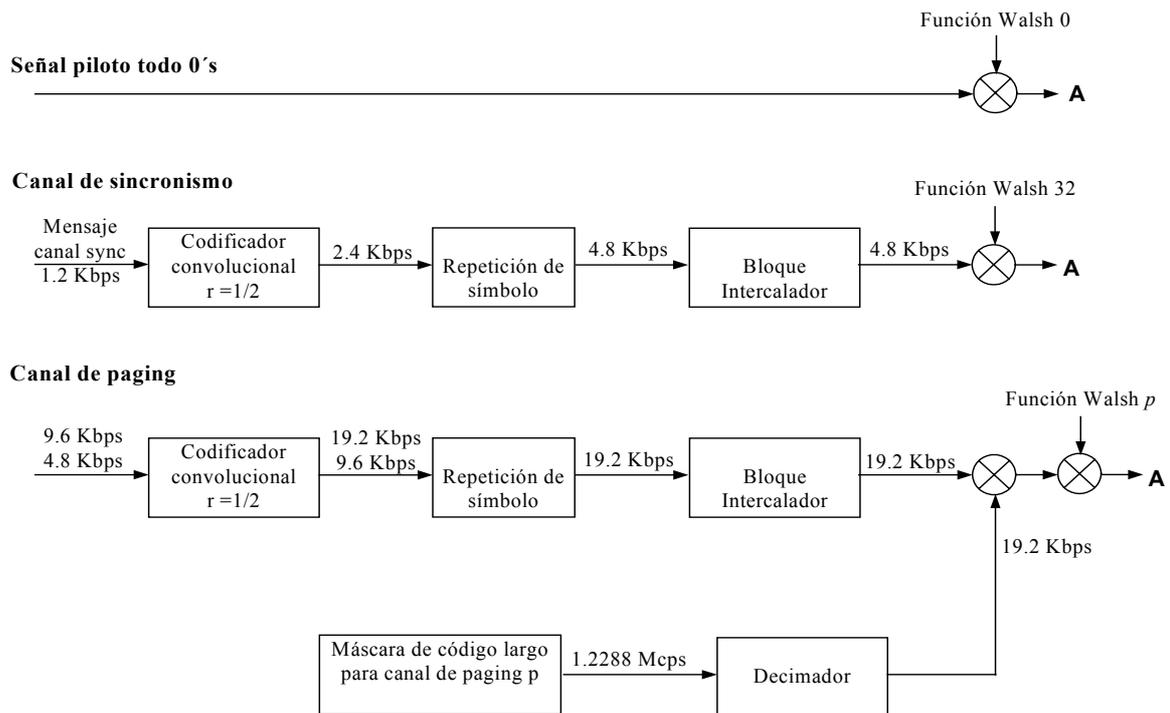


Figura. 2.6 Estructura del canal piloto, sincronismo y paging del enlace de ida<sup>11</sup>

### 2.5.2 Canal de sincronización

Al canal de sincronización se le asigna el código de Walsh 32, y opera a una velocidad fija de 1.2 Kbps. La información es contenida en el “mensaje de canal de sincronización” que provee al móvil de información acerca de sincronización del sistema. El canal de sincronización contiene además el índice de offset de la secuencia PN para la estación base.

### 2.5.3 Canal de paging

Este canal provee de información, instrucciones al móvil y mensajes de reconocimiento luego de los intentos de acceso. Opera a una velocidad de 4.8 o 9.6Kbps. Cuando una estación móvil va a recibir una llamada, recibirá un page de la estación base en un canal de paging asignado. Además contiene la siguiente información:

- Identificador de la estación base

<sup>11</sup> Figura editada de RAPPAPORT, IS-95 Forward Channel Signals pp. 71.

- Número de canales de paging
- Índices de offset de las secuencias PN piloto vecinas
- Bloqueo hasta que se encienda nuevamente la unidad móvil
- Liberación de bloqueo
- Identificación de los números de los cuales se recibe las llamadas
- Numero de mensajes en espera

#### **2.5.4 Canal de tráfico**

El canal de tráfico se usa para transmitir voz y datos del usuario y mensajes de señalización. A dicho canal se le asigna un código de Walsh específico (figura 2.5). La voz es codificada utilizando un vocoder de tasa variable, dependiendo de la actividad de la voz.

Un subcanal de control de potencia es transmitido continuamente en el canal de tráfico de ida. Un “0” le dice al móvil que incremente su potencia media de salida en 1dB y un “1” indica que la baje en 1dB.

Cuando el canal de tráfico de ida es utilizado para señalización, realiza las siguientes funciones: pide al móvil que pruebe su identidad, envía al móvil la información necesaria para comenzar el proceso de handoff, actualiza los parámetros de las estaciones base vecinas enviados inicialmente por el canal de paging, informa al móvil que está registrado. En la siguiente figura se muestra la estructura del canal de tráfico para el enlace de ida, para el usuario m.

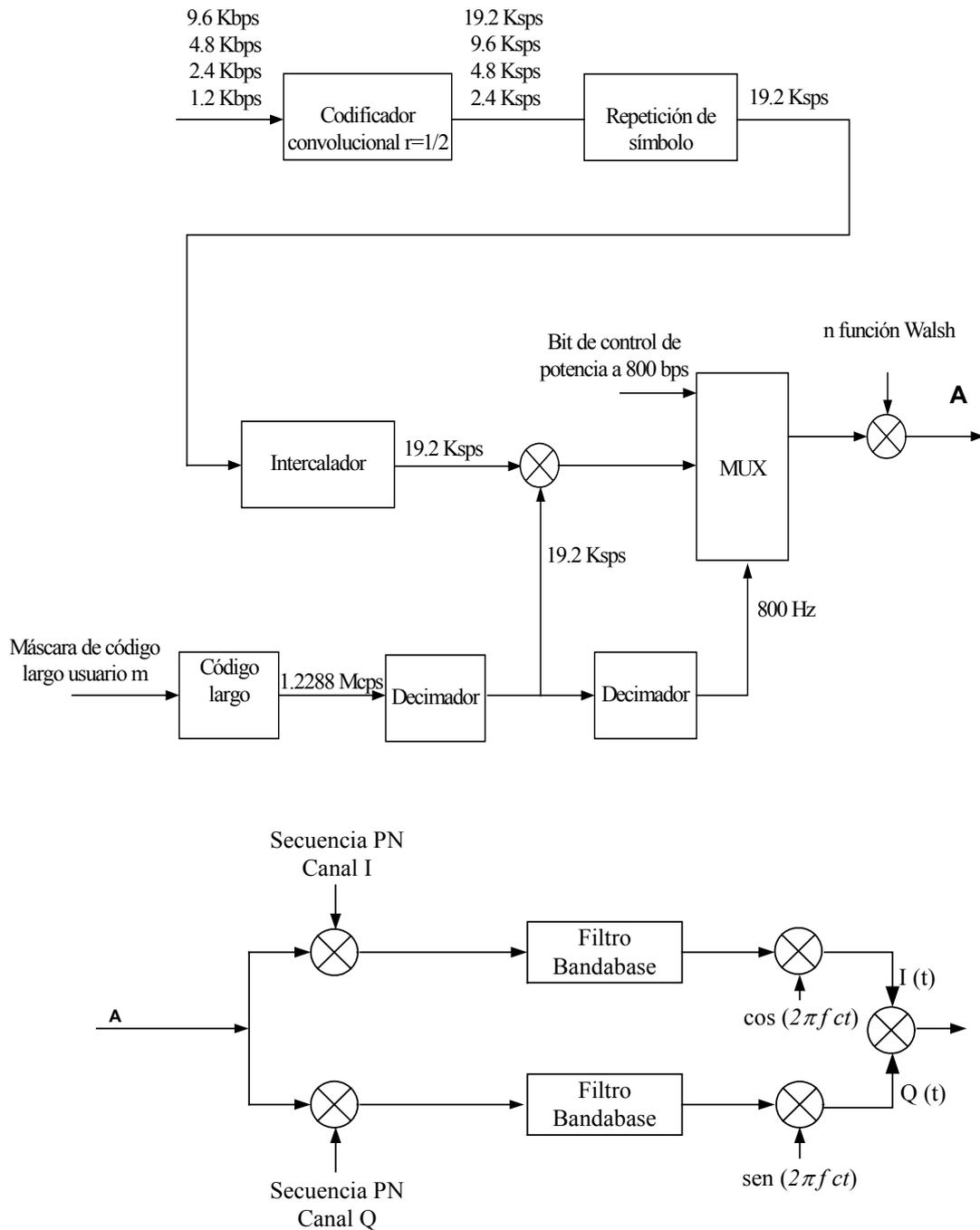


Figura. 2.7 Estructura del canal de tráfico para el enlace de ida<sup>12</sup>

En el anexo 2 se describe el programa desarrollado en Matlab que realiza la simulación del enlace de ida. Nombre del programa forwardlink\_ruido.m.

<sup>12</sup> Figura editada de RAPPAPORT, IS-95 Forward Channel Signals pp. 73

## 2.6. ENLACE DE RETORNO

El enlace de retorno o reverse link, va desde el móvil hasta la estación base y consta de dos tipos de canales lógicos: canales de acceso y canales de tráfico. Debido a que el enlace de retorno es de naturaleza no coherente, no se puede usar los códigos de Walsh para la canalización, por lo que para distinguir usuarios unos de otros se debe usar las secuencias largas PN.

### 2.6.1 Canal de acceso

Este canal es usado por la estación móvil para comunicarse con la estación base, cuando el móvil aun no tiene un canal de tráfico asignado. Este canal trabaja a una velocidad fija de 4.8 Kbps. Existen dos tipos de mensajes enviados sobre el canal de acceso: un mensaje de respuesta (en respuesta a un mensaje de la estación base) o un mensaje de petición (enviado por el móvil). El móvil usa este canal para originar llamadas y responder a los mensajes de canal de paging. La transmisión de información en este canal es no coherente lo que dificulta su detección en la estación base, por eso se asigna un código de Walsh a cada grupo de 6 símbolos binarios de información. Dicha información enviada es correlacionada con los 64 códigos de Walsh conocidos, lo que facilita su identificación. En cambio la secuencia larga PN es usada para distinguir los diferentes canales de acceso.

### 2.6.2 Canal de tráfico

El canal de tráfico es usado para enviar los datos y voz de usuario. (figura 2.8 <sup>13</sup>). Este canal consta de un bloque que combina de forma aleatoria la ráfaga de datos, lo que permite tomar ventaja del factor de actividad de voz sobre el enlace de retorno. El canal de tráfico de retorno lleva típicamente la siguiente información.

- Datos generados por el usuario
  
- Liberación (cuando se detecta potencia baja).

---

<sup>13</sup> Figura editada de RAPPAPORT, Reverse Access Channels pp. 68

- Datos de validación de la identidad del móvil.
- Características de la estación móvil
- Números de origen, destino y conectado.
- Datos con respecto del nivel de señales piloto vecinas.

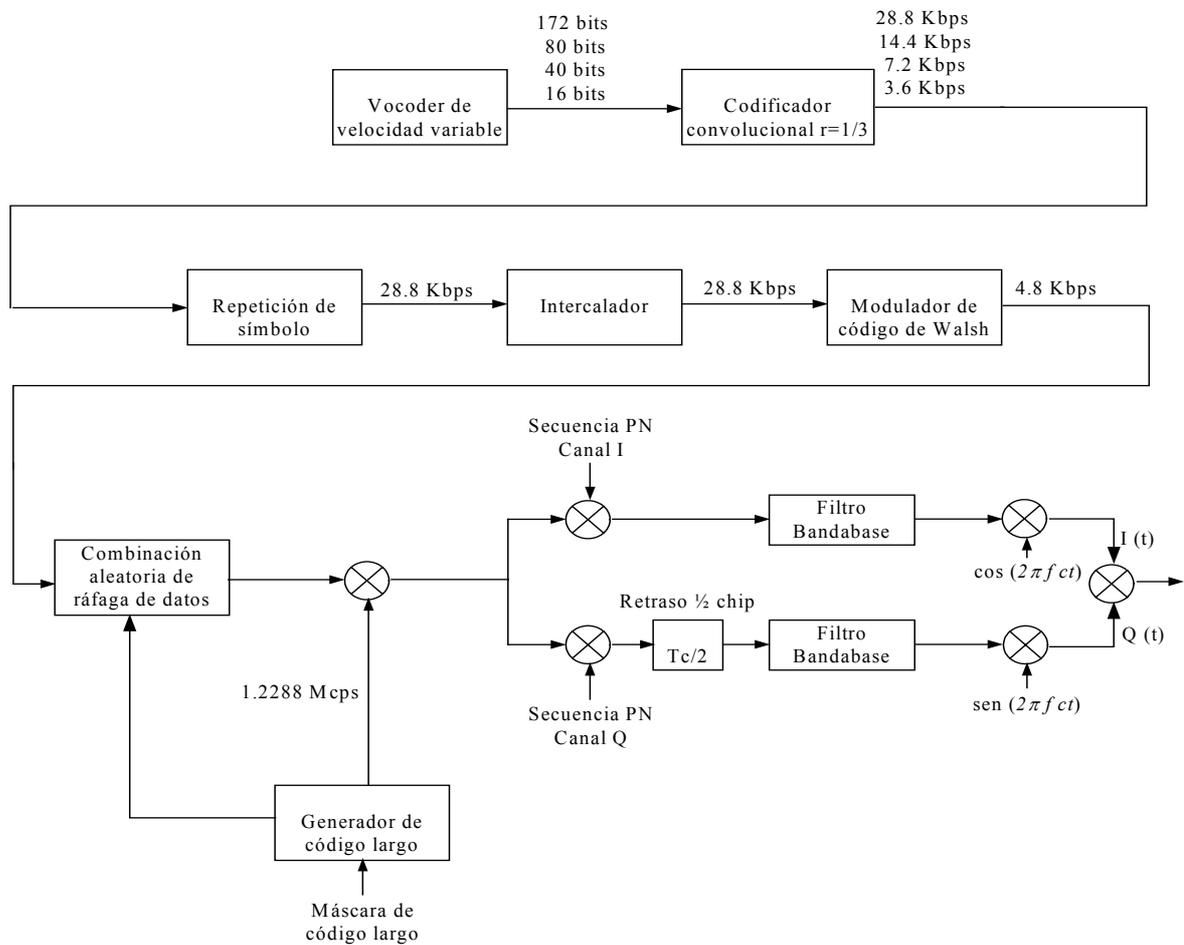


Figura. 2.8 Procesamiento del canal de tráfico en el enlace de retorno

## 2.7. CONTROL DE POTENCIA

La potencia de cada móvil debe ser controlada para que no cause interferencias a los demás usuarios y a su vez permita una comunicación satisfactoria. Sin control de potencia

se puede producir el problema cerca-lejos, en el que los usuarios transmiten a la misma potencia sin importar a que distancia se encuentren de la estación base y por consecuencia el usuario que está más cerca de la estación base tendrá mayor calidad de voz.

El valor óptimo del nivel de potencia de recepción debe ser el mínimo posible que permita al enlace cumplir con los objetivos de desempeño definidos por el usuario (BER, FER, capacidad, tasa de llamadas perdidas y cobertura). Para obtener una buena calidad de la señal es necesario mantener una relación  $E_b/I_t$  (Energía de bit/ Interferencia total) deseado y ser capaz de responder a los niveles de la tasa de tramas erróneas FER (*Frame Error Rate*) a medida que estos ocurran.

### **2.7.1 Control de Potencia en el enlace de retorno**

Este tipo de control afecta a los canales de acceso y de tráfico dentro del enlace de retorno (desde el móvil hacia la estación base). El principio de funcionamiento se basa en la transmisión de sondeos de acceso que son una serie de transmisiones de potencia progresivamente altas. Existen dos tipos de control de potencia para el enlace de retorno los cuales son: de lazo abierto y de lazo cerrado.

#### **2.1.1.7 Control de potencia de lazo abierto**

El control de potencia de lazo abierto está basado en el principio de que el móvil que está más cercano a la estación base necesita transmitir a menor potencia que un móvil que está más lejos. El móvil determina la potencia inicial transmitida en los canales de acceso y tráfico.

El móvil se enlaza al sistema CDMA mediante la recepción y procesamiento de los canales paging, sincronización y piloto. El canal de paging proporciona el mensaje “Parámetros de acceso”, el cual contiene la información que necesita el móvil cuando requiera transmitir hacia la estación base sobre el canal de acceso.

Si el móvil ha enviado un mensaje de reconocimiento espera un tiempo aleatorio para enviar nuevamente el mismo mensaje. Este proceso se repite hasta que el móvil obtiene una respuesta de la estación base. Si después de varios intentos de acceso no recibe

respuesta, el móvil debe tratar de acceder al sistema en otro momento pues puede deberse a que la potencia de transmisión es insuficiente o a que existe una colisión debido a la disputa del canal de acceso por varios móviles.

### **2.1.2.7 Control de potencia de lazo cerrado**

El control de potencia de lazo cerrado se usa para hacer los ajustes adicionales de potencia requeridos para compensar las pérdidas de desvanecimiento, y se activa una vez que el móvil obtiene un canal de tráfico de ida y comienza a procesar los bits de control de potencia. La forma de hacer los ajustes es en un proceso de retroalimentación: el receptor compara la relación señal/interferencia  $E_b/I_t$  con el valor objetivo y según el resultado de la comparación ordena al transmisor incrementar o reducir la potencia. Estas variaciones se hacen en pasos fijos comprendidos entre 0.5 y 2dB.. El control de potencia de lazo cerrado, consiste en dos partes:

- Lazo interno: Mantiene al móvil tan cerca como sea posible al  $E_b/I_t$  deseado.
- Lazo externo: Balancea el FER deseado con la capacidad del sistema.

### **2.7.2 Control de potencia en el enlace de ida**

El objetivo del control de potencia en el enlace de ida es limitar la interferencia dentro de la celda y reducir la interferencia de otras celdas. Este tipo de control intenta establecer la potencia de transmisión en cada canal de tráfico a la mínima requerida para mantener el FER deseado en el móvil. El FER del canal de tráfico de ida es continuamente medido por el móvil, el cual reporta estas mediciones a la estación base periódicamente. Luego de recibir este reporte, la estación base toma la medida apropiada para disminuir o incrementar la potencia en el canal medido.

## **2.8. TRASPASOS**

Traspaso o handoff es el proceso mediante el cual un móvil se traslada a un nuevo canal de tráfico. En dicho proceso la estación móvil está operativa y periódicamente se actualizan sus datos en el sistema, para mantener una buena calidad en el enlace. Aquí

intervienen la estación base, el móvil y la central de conmutación de móviles MSC (Mobile Switching Center). Existen varios tipos de handoff y pueden ser: softer, soft<sup>14</sup>, softer-soft y hard<sup>15</sup> handoff.

Durante el proceso de handoff, la voz o datos y la señalización proveniente de varias estaciones base debe ser combinada en un punto común, en el cual se realizaran las decisiones de acuerdo a los parámetros de calidad de voz. Además la voz / datos y la señalización debe ser enviada a varias estaciones base y la estación móvil debe combinar los resultados generalmente en el MSC. La petición de handoff se transmite a través del canal de paging, mediante el mensaje “parámetros del sistema”. La estación base o el móvil pueden hacer la petición de handoff, y puede darse por los motivos que a continuación se enlistan.

- Límites de distancia excedidos entre la estación base y el móvil
- Potencia de la señal piloto está por debajo del umbral.
- La carga de tráfico de la estación base no está balanceada con respecto a las otras estaciones base.

### **2.8.1 Softer handoff**

Este tipo de handoff ocurre dentro de la misma celda que está sirviendo al usuario, en el que el móvil se comunica con dos sectores de la misma celda y se realiza el handoff antes del rompimiento de la conexión (figura 2.9).

### **2.8.2 Soft handoff**

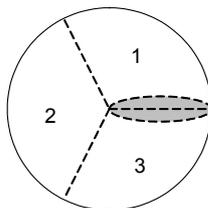
En este tipo de handoff el móvil se comunica con dos o tres sectores de diferentes celdas en la que una estación base (primaria) tendrá control directo sobre el proceso de la llamada. Las estaciones base involucradas en este proceso intercambian información a

---

<sup>14</sup> Soft: suave

<sup>15</sup> Hard: duro

través de los enlaces de señalización, por lo que utilizan mas recursos de red.



**Figura. 2.9 Softer handoff<sup>16</sup>**

### 2.8.3 Hard Handoff

Este tipo de handoff se caracteriza por terminar la conexión antes de realizar el handoff. El hard handoff puede producirse cuando se requiere un handoff entre estaciones base o sectores con diferentes portadoras o cuando existe un cambio de piloto a otro, sin antes haber estado en soft handoff con el canal piloto nuevo o cuando se necesita hacer un handoff de CDMA a analógico y viceversa.

## 2.9. RECEPCION POR DIVERSIDAD

La recepción por diversidad se basa en que varias señales recibidas pueden ser combinadas para mejorar la relación señal a ruido de un sistema. Esta es una de las ventajas del sistema CDMA, ya que las técnicas de recepción por diversidad reducen los efectos del desvanecimiento y mejoran la calidad de la comunicación, sin que sea necesario el aumento de la potencia del transmisor o el ancho de banda del canal. La mayoría de los sistemas de diversidad están implementados sobre el receptor, esto evita el consumo innecesario de potencia. En el receptor se corrigen los retrasos de fase y tiempo debido a los efectos multicamino.

### 2.9.1 Diversidad Macroscópica

Este tipo de diversidad es utilizado para reducir el desvanecimiento ocurrido cuando la estación base y el móvil se encuentran a grandes distancias. Por ejemplo se

---

<sup>16</sup> Figura editada de TORRES, Handoff pp.36

pueden usar dos antenas separadas para recibir dos señales (de la misma señal), y combinarlas para reducir el efecto de desvanecimiento. En el sistema CDMA, en el enlace de retorno, mientras mayor sea el número de estaciones base intentando detectar a un móvil, será mayor la probabilidad que una de dichas bases le brinde un mejor servicio.

## **2.9.2 Diversidad Microscópica**

Este tipo de diversidad utiliza dos o más antenas ubicadas relativamente cerca y diseñadas para explotar las diferencias de las señales recibidas. Existen varios métodos que pueden ser utilizados para obtener señales no correlacionadas que luego serán combinadas:

### **2.2.1.9 Diversidad de espacio**

Este tipo de diversidad se obtiene mediante el uso de varios caminos físicos para la transmisión de la señal. Por ejemplo múltiples antenas son colocadas cerca y pueden ser usadas para recibir el mensaje, con las señales combinadas se obtendrá la señal transmitida. Las señales recibidas tienen una correlación baja entre sí.

### **2.2.2.9 Diversidad de tiempo**

El propósito de esta técnica es expandir los datos en el tiempo tal que el ruido producido a ráfagas afecta únicamente a pocos bits. Entonces la transmisión de un símbolo se encuentra distribuida a lo largo del tiempo, si la misma señal se transmite en diferentes ranuras de tiempo.

### **2.2.3.9 Diversidad de frecuencia**

Esta técnica se basa en el principio de que las señales recibidas en dos frecuencias separadas por un ancho de banda adecuado, poseen una correlación baja.

### **2.2.4.9 Diversidad de polarización**

Esta técnica utiliza ondas polarizadas vertical y horizontalmente, las cuales presentan una correlación muy baja. Este tipo de diversidad ocasiona una pérdida de potencia de 3dB en el transmisor debido a que la potencia de la señal se divide para las dos antenas

polarizadas.

### 2.9.3 Diversidad multitrayecto

El uso de receptores RAKE proporciona diversidad. El principio de funcionamiento de este tipo de receptor se basa en la utilización de un arreglo de correladores que determinan la calidad de cada una de las señales obtenidas mediante cualquiera de los métodos de diversidad antes mencionados.

Se utilizan versiones desplazadas en el tiempo de la señal recibida, debido a que las características de las secuencias de expansión hacen que presenten un nivel bajo de correlación. Entonces la forma de onda recibida tendrá cierta deformación respecto a la señal transmitida, provocada por el fenómeno perjudicial llamado multicamino variante en el tiempo, por lo que el receptor Rake debe adaptarse a las características del canal para combatir dicho efecto. El receptor también puede verse como un sistema de diversidad de orden  $M$ , en el que las réplicas producidas por el multicamino son separadas y posteriormente combinadas para formar una variable de decisión.

Un banco de correladores asigna a cada señal un factor de ponderación, de acuerdo a su energía con respecto al ruido. Una vez combinadas las señales, se corrigen los offsets de tiempo inicialmente generados y se suman a las diferentes ramas del receptor Rake, generando una señal mejorada. La siguiente figura muestra la estructura básica del receptor Rake.

Como se puede ver en la figura 2.10 el receptor Rake está formado por un conjunto de  $M$  ramas, en cada una de las cuales se multiplica la señal por una réplica local de la forma de onda ensanchada, con su correspondiente retardo. Las salidas  $M$  se combinan e integran, se compensan los desfases relativos y realizan una suma ponderada por la amplitud con que se recibe cada componente

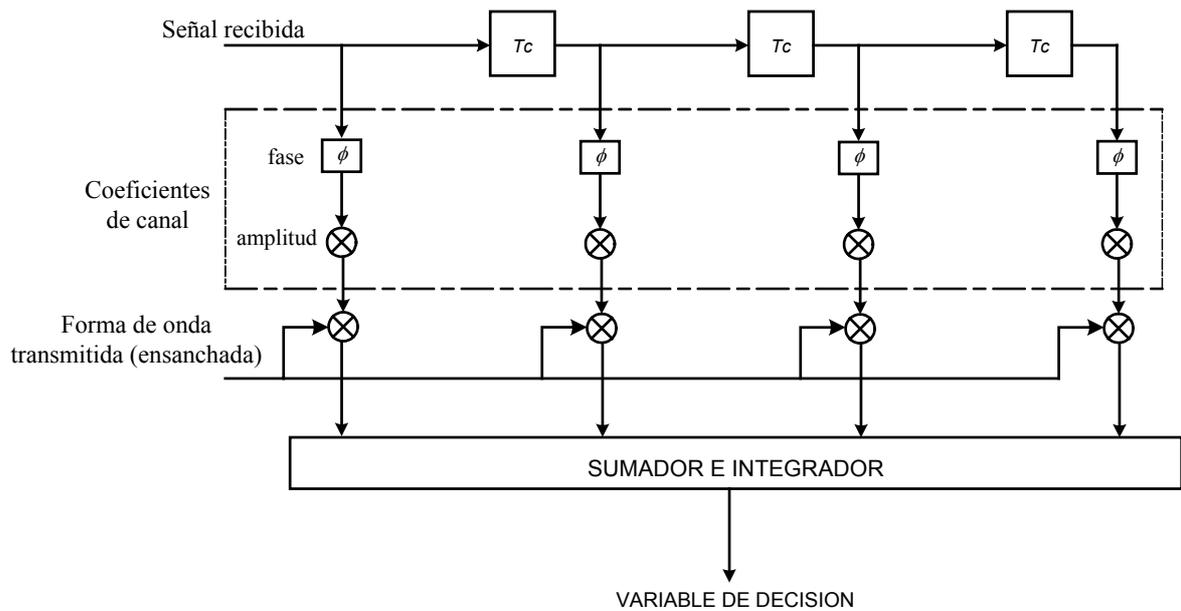


Figura. 2.10 Estructura básica del Receptor RAKE<sup>17</sup>

## 2.10. PROCESAMIENTO DE LA LLAMADA EN IS-95 CDMA

Para llevar a cabo una llamada, mantenerla y finalizarla, se necesita varias funciones que permitan realizar dichos procesos

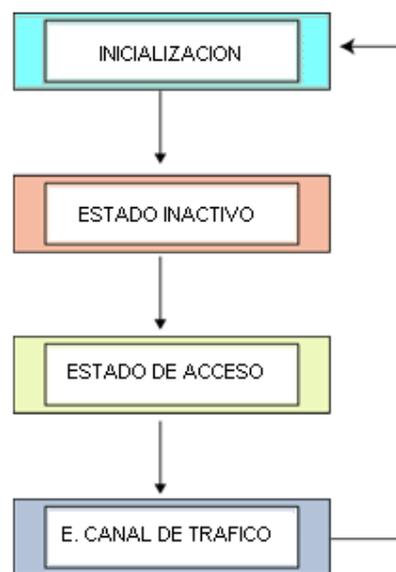


Figura. 2.11 Etapas del proceso de llamada en el sistema CDMA<sup>18</sup>

<sup>17</sup> Figura editada de LLUCH, Estructura del receptor pp. 219

. El estándar IS-95 CDMA, describe estas funciones con respecto a la estación móvil. En la figura 2.11 se muestra las etapas en el proceso de una llamada.

A continuación se indica lo que realiza cada una de las etapas para completar el proceso de llamada.

### 2.10.1 Estado de inicialización

La etapa de inicialización consta de cuatro subetapas que son:

- Determinación del sistema, en la que el móvil selecciona que sistema usará (por ejemplo el sistema A o B de la banda celular.)
- Adquisición del canal piloto, en el que adquiere el canal piloto más fuerte mediante la búsqueda de todas las posibilidades.
- Adquisición del canal de sincronización, en el que obtiene dicho canal utilizando la función de Walsh 32 y el offset de tiempo detectado por el canal piloto. Mediante este canal obtiene información acerca de la configuración del sistema y los datos de sincronización de tiempo .
- Cambio de reloj, en el que el móvil sincroniza su reloj y la fase del código largo, al del sistema CDMA.

### 2.10.2 Estado libre del sistema

En este estado se monitorea el canal de *paging* del enlace de ida, para así enviar y recibir mensajes y obtener los parámetros necesarios para iniciar o recibir una llamada. El móvil envía sobre el canal de paging la siguiente información: parámetros del sistema, lista de canales CDMA, parámetros de acceso, etc.

---

<sup>18</sup> Figura editada de YANG, Call Processing States pp. 134

Se debe tener en cuenta que mientras el móvil está en estado libre puede moverse de una a otra área de cobertura de una estación, entonces se produce un handoff. En esta situación es necesario que el sistema monitoree el conjunto de señales piloto es decir las señales piloto activas, vecinas y remanentes, para decidirse por una de ellas de acuerdo a su potencia.

### **2.10.3 Estado de acceso al sistema**

En este estado el móvil envía mensajes sobre el canal de acceso y la estación base envía mensajes en el canal de paging. El móvil monitorea el canal de paging hasta que recibe el conjunto actualizado de mensajes de configuración. Entonces el móvil envía hacia la estación base el mensaje de inicio, mensaje de respuesta, asignación de canal de acceso con prioridad.

Otra función del estado de acceso es el subestado de registro de acceso en el que el móvil informa a la estación base acerca de la identificación del móvil, estado, localidad y otra información pertinente.

Para la autenticación del móvil se usa la clave A, que es un número aleatorio conocido solamente por el centro de autenticación (AC Authentication Center). Para la obtención de la clave A se necesita datos como el número serial electrónico (ESN *Electronic Serial Number*) y el número de identificación el móvil (MIN *Mobile Identification Number*).

### **2.10.4 Estado del canal de tráfico**

Cuando el intento de acceso es exitoso, la estación móvil pasa al estado de canal de tráfico. En este estado es cuando se da lugar a la comunicación de voz. Para concluir una llamada el móvil envía una petición de liberación de llamada y espera la respuesta desde la estación base, también la estación base ordena al móvil terminar la llamada y liberar los recursos en cualquier momento, esta información se transmite a través del canal de tráfico de ida. Además se envían mensajes de control de potencia.

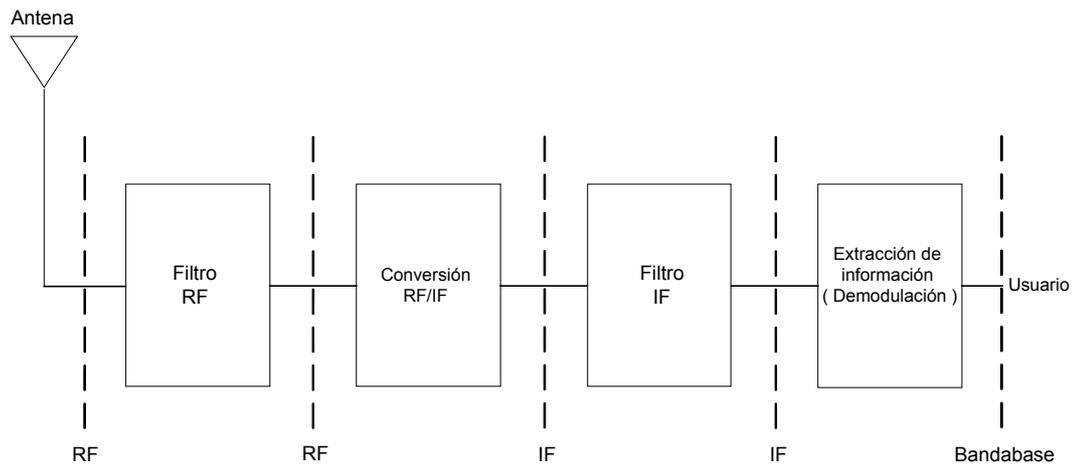
## CAPITULO III

# CONSIDERACIONES DE HARDWARE PARA EL RECEPTOR IS-95 CDMA

### 3.1 INTRODUCCION

Este capítulo tratará acerca de las consideraciones básicas del hardware para el receptor IS-95 CDMA. Las señales inalámbricas son ondas de radio que están en el rango de MHz hasta GHz, dichas ondas llevan la información del canal. Los receptores extraen la información (audio, video, etc.) desde las ondas de radio y la presentan al usuario en una forma adecuada. En la figura 3.1 se muestra un modelo simplificado de una cadena de hardware para el receptor tradicional. La antena colecta las ondas de radio en la banda de MHz o GHz, llamada señales de radio frecuencia.

Si se extrajera información directamente desde una señal de RF resultaría difícil y muy costoso, por tanto para eliminar las bandas adyacentes de la frecuencia requerida, la señal es primero bajada y convertida a una frecuencia fija llamada frecuencia intermedia (IF), en este punto la señal es filtrada. Debido a que todos los canales son bajados convertidos a la misma IF, el filtro no necesita ser ajustado y puede tener una alta precisión. La información es extraída fácilmente desde la IF mediante técnicas de demodulación.



**Figura 3.1 Esquema de hardware para el receptor de radio tradicional<sup>19</sup>**

El hardware de los radios tradicionales tiene un conjunto de limitaciones. Primero se puede acotar que tienen poca flexibilidad para adaptarse a los nuevos servicios y estándares. Los componentes son diseñados para operar en una banda particular (RF) y estándar. Cuando la frecuencia o algún otro parámetro de los estándares cambia los radios tradicionales no pueden extraer correctamente la información y puede que se requiera reemplazar los módulos de hardware para que se adapten a las nuevas necesidades. Para realizar el rediseño, construcción e implementación del nuevo hardware se requiere de tiempo y dinero.

Los radios tradicionales también limitan el número de servicios que pueden proveer. Si en un mismo teléfono celular se requiere proveer dos o más servicios como por ejemplo GSM e IS-95 CDMA, es necesario implementar una cadena de hardware para cada servicio. El teléfono físicamente está compuesto de dos teléfonos independientes colocados en la misma estructura. El costo, el espacio y las baterías utilizadas limitan el número de cadenas de hardware que pueden ser integradas en el mismo dispositivo.

### 3.2 HARDWARE DEL RECEPTOR IS-95 CDMA

En la figura 3.2 se muestra la estructura en bloques del receptor IS-95 CDMA. La antena colecta las ondas de radio en MHz o GHz, llamadas radio frecuencias. En el caso

<sup>19</sup> Figura editada de MERINO, Market Impact of Software Radio pp 21.

del estándar IS-95 CDMA el canal de ida utiliza frecuencias desde 824 hasta 849 MHz y frecuencias desde 869 hasta 894 MHz para el canal de retorno. La antena presenta la señal RF al receptor.

El ancho de banda del estándar IS-95 CDMA es de 1.23 MHz. La señal recibida es bajada convertida a frecuencia IF la cual normalmente tiene una o dos veces el ancho de banda de la señal.

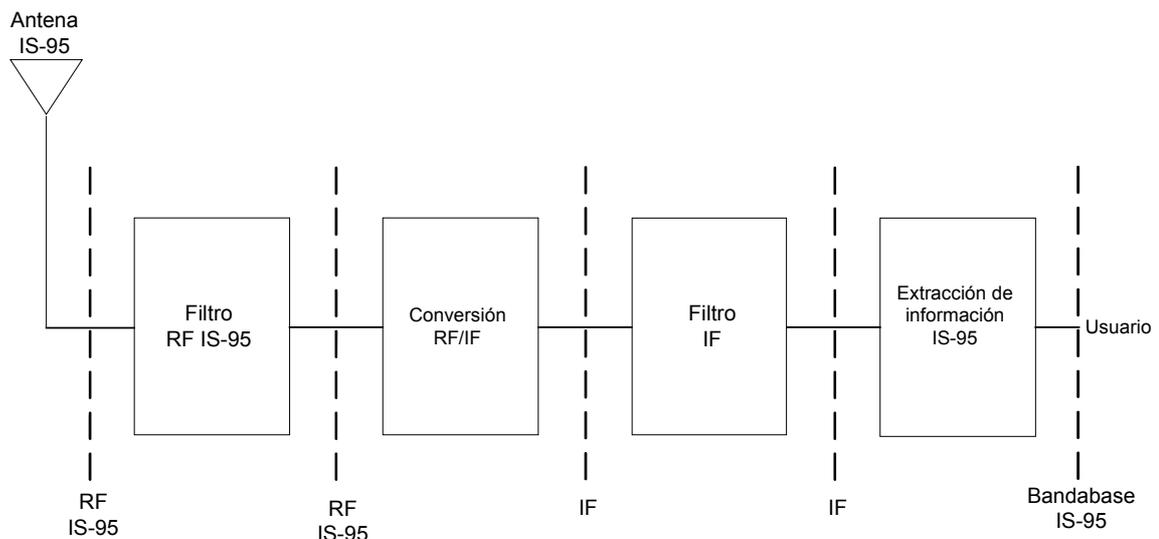
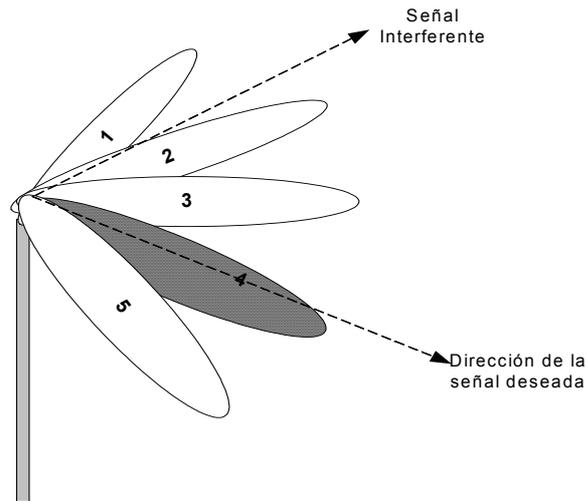


Figura 3.2 Esquema de hardware para el receptor IS-95 CDMA

### 3.2.1 Antena

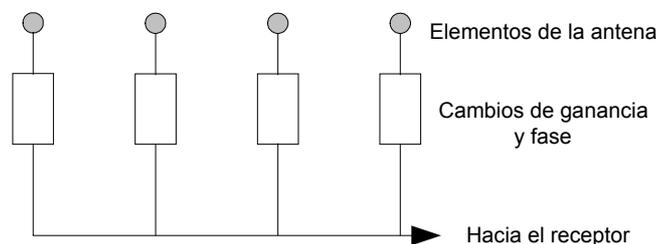
En cualquier sistema inalámbrico las antenas son usadas en los extremos del enlace. La antena está en capacidad de acoplar la potencia de radio frecuencia desde una línea de transmisión en el espacio libre, permitiendo que el receptor capture la potencia incidente de la onda electromagnética.

El tipo de antena utilizada para el receptor IS-95 CDMA se denomina *smart antenna* la cual incluye un sistema de radiación conmutado *SBS (Switched Beam System)* (figura 3.3) o un sistema adaptativo de antenas que se muestra en la figura 3.4. El sistema de radiación conmutado puede seleccionar uno o varios lóbulos de radiación para receptor las señales deseadas.



**Figura 3.3 Tecnología de smart antenna, sistema de radiación conmutado<sup>20</sup>**

En una antena adaptativa las señales recibidas por múltiples antenas son ponderadas y combinadas para maximizar la SNR, los valores son tomados desde la señal piloto. La ventaja de la antena adaptativa sobre el SBS es que la suma de cada elemento del arreglo permite que se obtenga diversidad de ganancia.



**Figura 3.4 Tecnología de smart antenna, arreglo de antenas<sup>21</sup>**

### 3.2.2 Filtros

La radio frecuencia utilizada por el estándar IS-95 CDMA en canal de ida es la banda clase 0 y está en el rango de 824 hasta 849 MHz y frecuencias desde 869 hasta 894 MHz para el canal de retorno. El ancho de banda del estándar IS-95 CDMA es de 1.23 MHz. La señal recibida es bajada convertida a frecuencia IF la cual normalmente es una o dos veces el ancho de banda de la señal. En la práctica se utiliza frecuencias IF que están en el rango

<sup>20</sup> Figura editada de RAPAPPORT, Adaptive Antenna pp. 9

<sup>21</sup> Figura editada de VIJAY, Smart Antenna pp. 77

de 85 a 110 MHz.

Las técnicas de procesamiento de señal hacen un muestreo de la señal para extraer la información. La digitalización se puede realizar después del filtro IF o después del demodulador que se muestra en la figura 3.2.

Se denomina *RF Front-end* al conjunto de un filtro RF, un conversor RF/IF y un filtro IF, el cual se muestra en la figura 3.2. El *RF Front-end* selecciona y convierte la señal a frecuencia IF.

### 3.2.3 Extracción de información

Después de ser bajada convertida la señal CDMA a bandabase, ésta alimenta la entrada del correlador junto con otras señales interferentes. Cuando la secuencia PN del correlador encaja con la secuencia PN enclavada en al señal CDMA, la información de la señal deseada pasa a su ancho de banda original.

El filtro digital, el cual sigue al despreader<sup>22</sup> tiene un ancho de banda igual al ancho de banda de la información, selecciona completamente la información de portadora deseada.  $E_b/N_t$  está definido como el radio de la energía promedio por bit de información para la densidad efectiva de potencia de ruido a la salida del correlador. Densidad de potencia de ruido consiste en un ruido térmico e interferencia de otras fuentes. Una señal de interferencia con un amplio ancho de banda en la entrada causa un gran ancho de banda en la salida del despreader.

El canal de ida contiene uno o más códigos, los cuales son transmitidos sobre la misma frecuencia CDMA. Estos códigos consisten en un canal piloto, un canal de sincronismo, 7 canales de paging y 63 canales de tráfico. Estos códigos comparten el mismo offset del código PN piloto de la estación base. Debido a que el canal de tráfico transporta las señales a un único usuario, la información de voz es codificada. El vocoder del móvil trabaja a 9.6 Kbps. Para realizar la detección y corrección de errores en el

---

<sup>22</sup> Despreader: palabra que se utiliza para indicar la acción de quitar el código de Walsh de los datos de usuario.

receptor se debe transmitir la información de voz codificada e intercalada, esto ayudará a combatir el desvanecimiento rápido y obtener privacidad, luego de ello, los símbolos del canal de tráfico son modulados mediante BPSK. La tasa de transmisión final para el canal de tráfico es igual a tasa de transmisión del chip esto es 1.2288 Mcps.

A la salida del transmisor de la estación base, el canal de tráfico junto con el canal piloto, sincronismo y paging son todos multiplexados uno a continuación de otro y asignados la misma frecuencia de radio del canal, debido esto la potencia de cada canal de tráfico representa una fracción de la potencia total del canal de ida del sistema CDMA. Luego de ello son limitados por un filtro digital de un ancho de banda de 1.23Mhz.

El canal recibido en la antena de la estación móvil es filtrado, amplificado, bajado convertido y demodulado en el front end del receptor. Después el reloj es recuperado a través del canal piloto, se sincroniza la trama a través del canal de sincronismo y el canal de tráfico de ida asignado al usuario o estación móvil es decodificado en el receptor.

## CAPITULO IV

### CONSIDERACIONES DE HARDWARE DEL RECEPTOR GPS

#### 4.1 INTRODUCCION

El dato más importante para un receptor por software es el dato muestreado. Dichos datos serán almacenados en memoria para ser procesados. El tamaño de la memoria establece la longitud del dato grabado. En procesamiento a tiempo real, la memoria sirve como un búfer entre el hardware y el procesamiento de la señal mediante software.

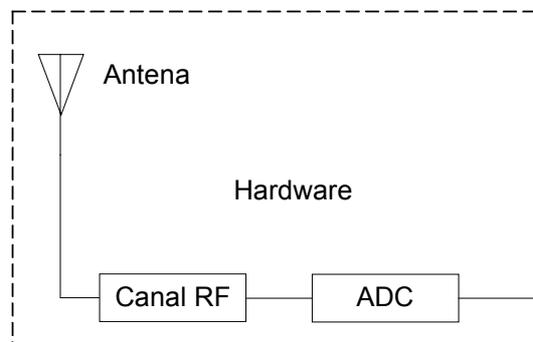


Figura 4.1 Hardware de un receptor básico<sup>23</sup>

El hardware incluye un canal de radio frecuencia, una antena y un conversor Análogo Digital ADC, que se muestra en la figura 4.1. La frecuencia de la señal de entrada puede ser bajada/convertida a frecuencia intermedia IF (*Intermediate Frequency*) antes de ser digitalizada. El sistema GPS trabaja a una L1 de 1575.42 MHz.

---

<sup>23</sup> Figura editada de TSUI, A basic GPS receiver, pp. 2

A continuación se describen las consideraciones de hardware del receptor GPS, los elementos principales se muestran en la figura 4.2.

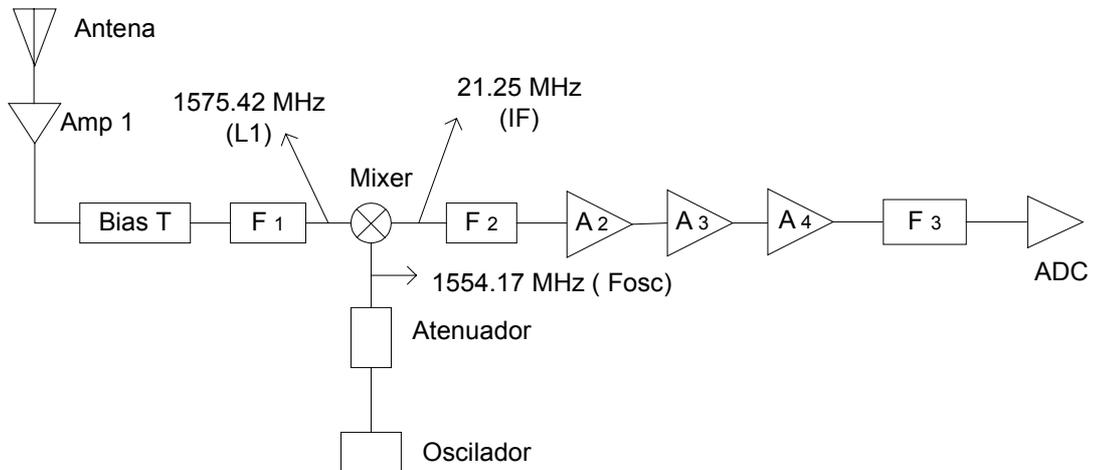


Figura 4.2 Etapas del hardware del receptor GPS<sup>24</sup>

## 4.2 ANTENA

Para dimensionar la antena es necesario considerar que debe tener una cobertura angosta para minimizar los efectos de la interferencia y los efectos de multicamino. Pues como es conocido el multicamino causa error en la obtención de la señal. Es difícil eliminar el multicamino porque vienen en cualquier dirección. Una usual señal multicamino es la reflexión desde la tierra hacia la antena y debido a que dicha señal reflejada puede ser conocida se la puede suprimir.

## 4.3 CONSIDERACION DE LA AMPLIFICACION

La amplificación necesaria depende del conversor análogo digital ADC (*Analog to Digital Converter*) utilizado para generar el dato. El ruido térmico  $N_i$  en la entrada del receptor es:

$$N_i = kTB \text{ vatios} \quad (4.1)$$

<sup>24</sup> Figura editada de TSUI, Down-Converted RF Front end for real data collection pp. 120.

Donde:

$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J / } ^\circ\text{K}$  (constante de Boltzmann)

$T =$  temperatura de la resistencia [ $^\circ\text{K}$ ]

$B =$  Ancho de banda del receptor [Hz]

El voltaje máximo para trabajar con todos los niveles del ADC es cerca de 100 [mv]. Si se asume que la impedancia característica del sistema es de 50  $\Omega$ , la potencia será 0.1 [mw] es decir  $-10 \text{ dB}$ .

El canal de radio frecuencia tiene filtros, mezcladores y pérdidas debido a los cables utilizados por lo que se tiene que realizar una compensación con ganancia adicional. La ganancia neta debería tener un valor cercano a 101 dB. Cabe señalar que una ganancia muy baja no activará todos los niveles del ADC y una ganancia muy alta saturará algún componente o creará un efecto adverso.

#### **4.4 CONSIDERACIÓN DE LAS FRECUENCIAS UTILIZADAS**

Existe dos posibles arreglos para la recolección de datos. El primero es digitalizar la señal de entrada directamente en una frecuencia dada, técnica que es llamada digitalización directa. La otra es bajada/convertida la señal de entrada a una frecuencia baja, llamada IF y luego digitalizarla.

La mayor ventaja de la aproximación digitalización directa es que el diseño no necesita un mezclador y un oscilador local. Un mezclador usualmente genera frecuencias espurias las cuales contaminan la señal de salida. Un oscilador local puede resultar caro y cualquier error o impureza en la frecuencia producida por dicho oscilador aparecerá en la señal digitalizada.

La mayor desventaja de la digitalización directa es que los amplificadores usados deben operar a altas frecuencias y esto resulta caro. Si el ADC trabaja a altas frecuencias el

número efectivo de bits decrece.

En la aproximación bajado/convertido, la frecuencia de entrada es convertida en IF, la cual es mucho más baja que la frecuencia de entrada. Resulta más fácil construir filtros que trabajen a IF, además que la inserción de errores en los amplificadores será menor.

#### 4.5 CONSIDERACION DEL FILTRO UTILIZADO

El primer componente seguido de la antena puede ser un filtro o un amplificador. Con cualquiera de los dos arreglos el ruido en el receptor puede ser expresado.

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_N - 1}{G_1 G_2 \dots G_N} \quad (4.2)$$

Donde:

$F_i$  = ruido de cada componente individual del canal de RF.

$G_i$  = ganancia de cada componente individual del canal de RF.

Si el amplificador es el primer componente, el ruido del receptor es bajo y aproximadamente igual ruido del primer amplificador, es decir menor a 2dB. El ruido total causado por el segundo componente (filtro), es reducido por la ganancia del amplificador. El problema de esta aproximación es que señales fuertes dentro del ancho de banda del amplificador pueden llevar a la saturación y a generar frecuencias espurias.

Si el primer componente es un filtro impedirá la entrada de señales fuera de banda a la entrada del amplificador. Para que el filtro deje pasar solo señales C/A debe tener un ancho de banda de 2MHz. En este caso el ruido en el receptor es alrededor de 2-3 dB más que el arreglo anterior. GPS usualmente utiliza un amplificador como primer componente después de la antena para obtener un bajo ruido .

## 4.6 SELECCIÓN DE LA FRECUENCIA DE MUESTREO

Un factor importante en la selección de la frecuencia de muestreo, dicha frecuencia se relaciona con el valor del chip rate del código C/A el cual es 1.023 MHz y la frecuencia de muestreo no debe ser múltiplo de este número, es decir no deben estar sincronizados. Si los puntos donde se toma las muestras de la señal y los cambios del código C/A coinciden no se podrá obtener el tiempo de resolución el cual mide el inicio del código C/A.

### 4.6.1 Frecuencia de muestreo para la obtención de datos

Si se utiliza solamente un ADC para coleccionar datos digitalizados desde un canal de RF, el dato de salida es referido como un dato real. El ancho de banda de la señal de entrada está limitado mediante la frecuencia de muestreo. La frecuencia de muestreo debe ser por lo menos dos veces mayor que la frecuencia de entrada.

Si la frecuencia de entrada es  $f_i$  y la frecuencia de muestreo es  $f_s$ , la frecuencia de entrada está submuestreada en  $n$  bandabase y la frecuencia de salida  $f_o$  es:

$$f_o = f_i - n f_s / 2 \text{ y } f_o < f_i / 2 \quad (4.3)$$

Donde  $n = \text{entero}$

Por facilidad de construcción de los filtros se considera que la frecuencia de muestreo debe ser al menos 2.5 veces mayor que la frecuencia de entrada. Entonces para el código C/A la tasa de muestreo mínima requerida es alrededor de 5MHz.

Para submuestrear la frecuencia de entrada cerca del centro de la bandabase, la siguiente relación se debe mantener.

$$f_o = f_i - n \frac{f_s}{2} \approx \frac{f_s}{4} \text{ y } f_s > 2\Delta f \quad (4.4)$$

### 4.6.2 Efecto de exactitud de la frecuencia de muestreo

Para la aproximación bajada/convertida, la inexactitud de la frecuencia de muestreo causa un pequeño error en la frecuencia de salida. Para un sistema de digitalización directa, el error en la frecuencia de muestreo hará que la frecuencia de salida tenga un gran error, por lo que para esta aproximación la exactitud de la frecuencia de muestreo es un parámetro importante.

El segundo impacto de la inexactitud de la frecuencia de muestreo es sobre el procesamiento de la señal. En el receptor por software los programas adquisición y tracking toman la frecuencia de muestreo como entrada.

### 4.6.3 Frecuencia RF bajada/convertida para la recolección de datos

En esta aproximación la señal de entrada es bajada a una IF y luego digitalizada por un ADC. En la ecuación 3.4. existen tres incógnitas por lo que la solución no es única. En el diseño de hardware, la frecuencia de muestreo es igual a  $f_s = 5\text{MHz}$  y  $f_i = \text{IF}$ . Se puede dar un valor arbitrario para  $n$  ya dicho número es un entero, pero se debe tomar en cuenta que el ADC debe trabajar a la frecuencia resultante.

Existen muchas formas de construir un FRONT END de RF. Los aspectos más importantes son la ganancia total y la instalación de los filtros. Los filtros se usan para impedir el paso de frecuencias fuera de la banda deseada y para limitar el ancho de banda del ruido, pero permiten la adición de pérdidas de inserción. El desempeño del FRONT END de RF también depende del lugar en que se coloquen los filtros en el receptor.

En la figura 3.2. se muestra un arreglo en el que los amplificadores 2, 3 y 4 operan a la IF, lo que resulta más barato que si operaran a RF. El filtro 1 es usado para limitar el ancho de banda de la señal de entrada. El filtro 2 es usado para limitar las frecuencias espurias generadas por el mezclador. El filtro 3 es usado para limitar el ruido generado por los tres amplificadores. Este arreglo es usado por la disponibilidad de amplificadores.

#### 4.7 DIGITALIZACION DIRECTA DE LOS DATOS COLECTADOS

Para este tipo de arreglo se requiere amplificadores y dos filtros. Los amplificadores deberían proveer la ganancia de RF deseada. Un filtro es usado después del primer amplificador para limitar las señales fuera de banda el segundo filtro se coloca a la entrada del ADC para limitar el ancho de banda del ruido. Este tipo de arreglo se muestra en la figura 4.3. Cabe señalar que sin el segundo filtro los datos recolectados tendrían mucho ruido, lo cual dificultaría su detección.

En el caso de muestreo directo, la frecuencia de la señal de entrada es fijada, por lo que se debe encontrar la frecuencia de muestreo  $f_s$  correcta para evitar el solapamiento de la salida. Para el cálculo de la frecuencia de muestreo se puede usar la ecuación 4.4.

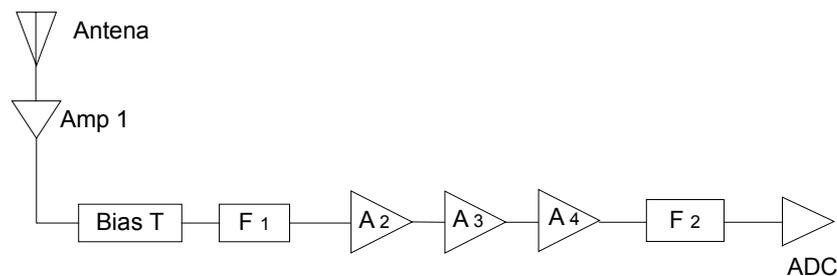


Figura 4.3 Arreglo de recolección de datos mediante digitalización directa<sup>25</sup>

#### 4.8 DIGITALIZACION DE LA SEÑAL COLECTADA POR EL RECEPTOR

GPS es una señal CDMA por lo que para recibir el máximo de señales en el receptor, todas las señales de los satélites deben tener la misma potencia.

Las ventajas de utilizar un ADC con pocos bits, es que su fabricación es fácil y el proceso de digitalización de los datos no ofrece dificultad. La desventaja es que se produce una degradación de la relación de señal a ruido.

En la tasa de muestreo de Nyquist, la degradación mínima es alrededor de 3.01 y

<sup>25</sup> Figura tomada de TSUI, Direct Digitalization for real data collection pp. 121

0.72 dB para un cuantizador de 1 y 2 bits respectivamente.

La única vez que se requiere un número mayor de bits para el ADC es cuando se desea que el receptor GPS tenga capacidad de antiatacamiento, ya que un ADC con poco número de bits se llega a saturar fácilmente. Generalmente una señal de atascamiento es más fuerte que una señal GPS.

Si se usa un ADC con un gran número de bits, el rango dinámico del receptor es alto. La señal de atascamiento puede estar presente y aún más causar disturbios en la señal, sin embargo las señales débiles de GPS están preservados en los datos digitalizados. Entonces el receptor estará en la capacidad de recibir señales fuertes y débiles al mismo tiempo.

## CAPITULO V

# TECNICAS DE DETECCION POR SOFTWARE EN EL RECEPTOR IS-95 CDMA

### 5.1 DEFINICION DE SOFTWARE RADIO

Existen varias definiciones de Software Radio a continuación se enunciarán las más importantes. El término de software radio fue ideado por Joe Mitola en el año de 1991 para referirse a una clase de radios reprogramables o reconfigurables, es decir con los mismos componentes de hardware del radio se podían desempeñar diferentes funciones a diferentes tiempos. El Forum radio determinado por software *SDR (Software Defined Radio)* define al software radio como un radio que acepta información de tráfico y control completamente programable y soporta un amplio rango de frecuencias, interfaces aéreas (CDMA IS-95, GPS, GSM, etc.) y aplicaciones de software.

Un software radio es aquel que determina por software la modulación, corrección de errores, proceso de encriptación, control sobre la RF del hardware y puede ser reprogramable.

### 5.2 CARACTERISTICAS DE SOFTWARE RADIO

La implementación del software radio ideal podría realizar la digitalización de la señal directamente en la antena, para permitir una total flexibilidad en la utilización de una señal digital o diseñar un front-end de RF para el manejo de un amplio rango de frecuencias de portadora y formatos de modulación.

A continuación se exponen las características más sobresalientes del Software Radio:

- **Basado en Software:** Las etapas de software desarrollan el procesamiento de la señal y el control de los parámetros del radio tales como frecuencia, modulación y potencia.
- **Software actualizable:** Las actualizaciones de software permiten que el sistema opere a otras bandas de frecuencia permitiendo realizar diferentes funciones, trabajar con diferentes estándares y añadir nuevos servicios.
- **Eficiencia de potencia:** Debido a que el software radio no consta de piezas de hardware, éste puede hacer uso eficiente de la potencia que consume dicho sistema.
- **Facilidad de construcción:** Los componentes de hardware de RF son difíciles de estandarizar y cada uno puede variar en su desempeño y aumenta la dificultad de acoplamiento entre sí. En el software radio la digitalización temprana de la señal puede evitar la implantación de partes en el sistema y se lo puede programar para obtener el desempeño deseado.
- **Implementación de nuevos servicios:** Para introducir nuevos servicios o actualizar los existentes sin interrumpir su operación se requiere una infraestructura flexible tal como la ofrecida por software radio. Por ejemplo la tecnología del vocoder está constantemente mejorando para brindar alta calidad de voz a una baja tasa de bits.

### 5.3 PRINCIPIOS DEL DISEÑO DE SOFTWARE RADIO

Los beneficios del software radio con su flexibilidad, reconfigurabilidad y escalabilidad por tanto estas características deben estar presentes en su diseño. El siguiente diseño genérico demuestra la interacción entre varios subsistemas de la estructura del radio. En la figura 5.1 se muestra los bloques correspondientes a un sistema de software radio.



Figura. 5.1. Diagrama de bloques de un sistema basado en Software Radio<sup>26</sup>

### 5.3.1 Sistemas de ingeniería

Entender los requerimientos del enlace de comunicación permite asignar los recursos suficientes para establecer el servicio dadas las condiciones del sistema. Por ejemplo las condiciones acerca del rango y la potencia a transmitirse obliga a elegir cierto tipo de modulación y tasa de velocidad de datos que puede ser soportada. Los sistemas de ingeniería y optimización se vuelven una tarea compleja, por lo tanto un software radio ideal debería tener la habilidad para cambiar uno o más parámetros a tiempo real.

### 5.3.2 Planificación de radio frecuencia

El enlace de RF ideal para software radio puede incorporar simultáneamente flexibilidad en la selección de la ganancia de potencia, ancho de banda, frecuencia central, sensibilidad y rango dinámico. Si el sistema de comunicación está obligado a seleccionar una banda comercial o militar el problema de optimización se simplifica, pues mediante el SR se puede compensar por ejemplo la distorsión de la potencia del amplificador o manejar la potencia de enlace de RF.

### 5.3.3 Selección de la conversión análoga a digital y la conversión digital a análoga.

La conversión análoga a digital y digital a análoga para un software radio ideal resulta muy difícil de conseguir por lo que en la práctica esta selección implica analizar el consumo de potencia, rango de frecuencias, ancho de banda, frecuencia de muestreo, etc. La selección de la conversión análoga a digital y conversión digital a análoga está

---

<sup>26</sup> Figura editada de <http://www.informit.com>

estrechamente ligada a los requerimientos de RF.

### 5.3.4 Selección de la arquitectura del software

La arquitectura del software es una de las consideraciones más importantes pues mediante ello se conseguirá compatibilidad y escalabilidad del software radio. Una arquitectura ideal debería permitir una total independencia del hardware en la que se tenga una interface entre las aplicaciones orientadas al software y la capa de hardware. El software necesita saber las capacidades del hardware en ambas puntas del enlace para así asegurar la compatibilidad y hacer uso de los recursos del hardware al máximo. El software radio requiere hacer algunos procesos de control como son el manejo de errores y el direccionamiento sin importar el protocolo utilizado en la infraestructura.

### 5.3.5 Selección del procesamiento digital de la señal de la arquitectura del hardware.

Este procesamiento tiene la capacidad de desarrollar todas las funciones de radio mediante software. El procesamiento digital de la señal en el hardware puede ser implementado por medio de procesadores digitales de señal *DSP (Digital Signal Processors)*, arreglos de compuerta de campo programable *FP-GA (Field Programmable Gate Arrays)* y los circuitos integrados de aplicación específica *ASIC (Application Specific Integrated Circuits)*.

## 5.4 ESTRUCTURA DE SOFTWARE RADIO

Un modelo práctico de software radio se muestra en la figura 5.1. El receptor empieza con una antena *smart* que provee ganancia para minimizar la interferencia, multicamino y ruido.

El software radio más práctico digitaliza la señal tan pronto como llega al receptor y convierte la señal a análoga lo más tarde posible es decir en la etapa más cercana al usuario. Una vez la señal es digitalizada es convertida a la banda de frecuencia intermedia IF.

A continuación se describen los elementos más relevantes de la estructura del

software radio.

#### **5.4.1 Antena**

La antena es el elemento más atenuador en el sistema de software radio. Adicionalmente la operación multibanda es muy difícil debido a que la estructura de la mayoría de las antenas tiene un ancho de banda que está en un pequeño porcentaje fuera de su centro de frecuencia. La antena debe tener una impedancia acoplada a la impedancia de los elementos electrónicos activos del sistema, cualidad que se consigue a costa de sacrificar ganancia de enlace.

#### **5.4.2 Filtro**

El elemento que se coloca después de la antena es un filtro el cual sirve para seleccionar la banda de frecuencia requerida y previene que señales fuertes fuera de banda limiten la cantidad de ganancia potencial y limiten su sensibilidad.

#### **5.4.3 Amplificador**

En la estructura del receptor de software radio se incorpora un amplificador de bajo ruido *LNA* (*Low Noise Amplifier*) el cual permite que se opere dentro del rango de frecuencias deseado y ajusta la ganancia.

#### **5.4.4 Mezclador**

Los mezcladores son usados para transformar el espectro de radio frecuencia RF en una frecuencia intermedia IF deseada.

Un oscilador local es usado para generar la apropiada frecuencia intermedia IF cuando es mezclada con la señal de radio frecuencia entrante. Generalmente un oscilador local es de frecuencia variable y fácilmente programable mediante software.

#### **5.4.5 Demodulador**

Los receptores de software radio utilizan demoduladores en cuadratura y su

propósito es separar los componentes los I y Q de la señal. El demodulador digital en cuadratura dentro del preprocesador proveerá una cuadratura perfecta.

#### **5.4.6 Conversor Análogo Digital**

El conversor análogo digital ADC es usado para convertir la señal de frecuencia intermedia IF u otras señales a un formato digital para poder procesarla. A la salida del ADC se puede producir un embotellamiento de la señal, por lo que la selección de sus características son un punto importante en la arquitectura de software radio. Dentro de los parámetros que utiliza el ADC están la tasa de muestreo, el rango de la frecuencia de entrada y el ancho de banda.

#### **5.4.7 Procesador**

Cómo se menciona en la sección 5.3.5 existen varios tipos de procesadores. Si se requiere una tasa muy alta de muestreo y datos se debe implementar FPGA o ASIC, caso contrario se utiliza un Procesador Digital de Señales PDS. A continuación se describe brevemente cada uno de ellos.

##### **5.4.7.1 Procesador de señal de propósito general**

Un procesador digital de la señal realiza funciones comunes de los sistemas de comunicaciones digitales en forma muy eficiente. Un sistema digital toma la señal banda base de RF y la digitaliza, adicionalmente realiza el condicionamiento de la señal y la demodula utilizando un DSP. Un DSP ejecuta diferentes algoritmos basados en una secuencia de instrucciones que típicamente son guardados en la memoria. Los DSP pueden realizar detección de la señal, funciones del receptor rake, control de ciertos parámetros como velocidades de transmisión de los datos, etc. Estos procesadores son más baratos que los FPGA por ejemplo. Los DSP ofrecen una flexibilidad máxima, gran consumo de potencia y una baja tasa de velocidad de cómputo.

##### **5.4.7.2 Procesador FPGA**

Este tipo de procesador maneja altas velocidades en la tasa de datos. Realiza

tareas específicas como demodulación en cuadratura, filtración del canal, reducción de la velocidad de la tasa de datos, medición de la potencia de RF, etc. Un FPGA tiene un throughput constante a pesar de la complejidad de los algoritmos utilizados, en cambio en un procesador de propósito general el throughput se ve afectado por el número de muestras de la señal.

#### **5.4.7.3 Procesador ASIC**

El procesador ASIC es un circuito integrado específico el cual es una pieza indispensable del hardware tradicional de los sistemas inalámbricos. ASIC implementa un tratamiento específico en el proceso de las señales y utiliza protocolos determinados. Estos procesadores son muy costosos de producir.

Este procesador provee una flexibilidad mínima, bajo consumo de potencia y alta tasa de velocidad de computo. La elección de los elementos para realizar el cómputo depende de los algoritmos y el desempeño de cada uno de ellos.

### **5.5 ADQUISICION DE LA SEÑAL MEDIANTE SOFTWARE**

Las técnicas de adquisición de la señal mediante software han sido probadas sobre el receptor GPS. A continuación se describe el proceso de detección de la señal.

#### **5.5.1 Descripción del código C/A**

La señal GPS se compone de dos tipos de señal: código C/A y código de precisión P, siendo el más importante el código C/A pues una vez éste es detectado el código P será también detectado. P es un código generado a partir de dos códigos PNR y es una señal modulada en bi-fase a 10.23MHz, con un ancho de banda del lóbulo principal del espectro de 20.46 MHz, por lo que su chip rate será igual a  $1/10.23\text{MHz}$ .

La señal C/A pertenece a la familia de los códigos de Gold los cuales son códigos de ruido pseudoaleatorio. Este código es una señal modulada en bi-fase a un chip rate de 1.023 MHz con un ancho de banda del lóbulo principal del espectro de 2.046 MHz.

El código C/A tiene una duración de 1023 bits el cual se genera a partir de dos registros de desplazamiento los cuales cumplen con la forma de los polinomios:

$$G_1 = 1 + x^3 + x^{10} \quad (5.1)$$

$$G_2 = 1 + x^2 + x^3 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10}$$

En el anexo 2 se describe el código del programa desarrollado en Matlab que realiza la generación del código C/A, este programa está basado en el libro de Tsui (pp. 73-108). Nombre del programa codegen.m.

El código C/A se asigna a cada uno de los 24 satélites que se encuentran en la órbita espacial.

### 5.5.2 Adquisición del código C/A

Una forma común de empezar un programa de adquisición es buscar satélites que sean visibles al receptor. Cuando es usado un receptor por software, la adquisición es usualmente desarrollada sobre un bloque de datos. Cuando la señal es encontrada la información es pasada al programa de tracking.

El concepto básico de adquisición es desensanchar la señal de entrada y encontrar la frecuencia de portadora. Si el código C/A con la correcta fase es multiplicado sobre la señal de entrada, la señal de entrada se transformará en una onda continua. Una vez la señal se vuelve una señal de onda continua (cw), la frecuencia puede ser encontrada desde la operación de la FFT.

Para encontrar el punto de inicio del código C/A, el código C/A localmente generado debe ser digitalizado y multiplicar la entrada punto a punto con el dato de entrada. La FFT o la DFT es ejecutada sobre el producto para encontrar la frecuencia. La amplitud más alta entre el total de salidas en el dominio de la frecuencia, puede ser considerada como el resultado deseado. Si el código C/A y el dato de entrada encajan, la salida de la FFT tendrá un componente fuerte.

El código localmente generado es obtenido a partir del producto de un RF complejo y el código C/A, entonces, esto también es complejo. Se asume que la frecuencia L1 (1575.42MHz) es convertida en 21.25 MHz y digitalizada en 5 MHz, la frecuencia de salida es 1.25 MHz. También se asume que el programa de adquisición busca un rango de  $1250 \pm 10$  KHz en pasos de 1 KHz y existe número total de 21 componentes de frecuencia. Este programa se encuentra en el anexo 4 y está desarrollado en Matlab y encuentra el punto de inicio de código C/A y la frecuencia de portadora de la señal de entrada, este programa está basado en el programa desarrollado por Tsui (TSUI, pp. 161-164). Nombre del programa p7\_1.m. Para la simulación de la adquisición se toma en cuenta la figura 4.2 del capítulo 4 del presente trabajo.

El código local  $I_{si}$  puede ser representado como:

$$I_{si} = C_{s_j} 2\pi f_i t \quad (5.2)$$

Donde:

$i$  = número del satélite 1,2,3..... 21

$C_s$  es el código C/A del satélite S,

$f_i = 1.250$  MHz

El algoritmo de adquisición usa la correlación para adquirir la señal y éste es adaptado para la aproximación del receptor por software.

Para desarrollar la adquisición sobre el dato de entrada, se realizan los siguientes pasos:

Se aplica la FFT sobre 1ms de dato de entrada  $x(n)$  y lo convierte al dominio de la frecuencia como  $X(k)$ .

Se toma la conjugada compleja de  $X(k)$  y la salida es  $X(k)^*$

Se genera 21 códigos locales  $I_{si}(n)$  donde  $i = 1, 2, \dots, 21$  usando la ecuación (5.1). El código local se forma de la multiplicación del código C/A del satélite  $s$  y una señal RF compleja y debe ser muestreado a 5MHz.

Se aplica la FFT sobre  $I_{si}(n)$  para transformarlo al dominio de la frecuencia como  $L_{si}(k)$ .

Multiplicar  $X(k)$  y  $L_{si}(k)$  punto a punto, el resultado se llama  $R_{si}(k)$

Tomar la FFT inversa de  $R_{si}(k)$  para transformar al dominio del tiempo como  $rsi(n)$  y encontrar su valor absoluto.

El máximo del valor absoluto de  $rsi(n)$  en la  $n$ -ésima ubicación y la  $i$ -ésima frecuencia da el punto de inicio del código C/A con 200 ns de resolución en el dato de entrada.

Una vez el inicio del código C/A y la portadora son encontrados, se pasará al programa de tracking el cual realizará la corrección de errores de los datos tomados mediante lazos y afinará los resultados para obtener una mejor resolución.

La salida del programa de tracking son ángulos de fase obtenidos a partir del código C/A. Se considera como un cambio de fase si el dato pasa del umbral  $\pm\pi/2$ . Para el caso de GPS la transición de fase debe ocurrir cada 20ms pues esa es la longitud del dato de navegación. Luego estos datos son convertidos en datos, en el caso del receptor GPS, los datos son convertidos en datos de navegación los cuales son  $-1$  y  $+1$ .

## 5.6 PRESENTACION DE RESULTADOS

### 5.6.1 Resultados de la simulación del forward link del estándar IS-95 CDMA

El código del programa desarrollado en Matlab 7.0 realiza la simulación del enlace de ida del estándar IS-95 CDMA. El programa se denomina `forwardlink_ruido.m`. Este programa consta de una entrada binaria de 6 datos de longitud. Se asume que los datos de usuario están generados a 9.6 Kbps, velocidad que es utilizada por el vocoder del estándar en estudio.

El vector de información de usuario será la entrada del bloque convolucional, el cual codifica cada bit de entrada en dos bits de salida, por lo que la velocidad de salida de este bloque es de 19.2 Kbps. Para la simulación se utiliza un registro de desplazamiento de dos etapas, este número sumado 1 es igual al entero utilizado como parámetro por la función `polytrellis`. De lo anterior se tiene que:

$$\text{Número de etapas del registro de desplazamiento} + 1 = 3 \quad (5.3)$$

Este resultado nos dará el número de errores que puede soportar el sistema para que se recupere la información originalmente transmitida por el usuario.

Entonces la salida de datos del codificador convolucional tendrá una velocidad de 19.2 Kbps y se tendrá una longitud de 12 bits, ésta será la entrada del bloque de interleaving el cual forma una matriz de  $m \times n$ , siendo  $m$  igual a 4 y  $n$  igual a 3. Estos parámetros se tomaron en base a la longitud del vector de entrada. Teóricamente es una matriz de  $32 \times 18$ . Una vez creada la matriz de  $4 \times 3$  se forma un vector el cual está compuesto por todos los elementos de la matriz leído en filas desde arriba hacia abajo.

La salida del bloque interleaving está a una velocidad de 19.2 Kbps. Esta entrada se multiplicará por el código de Walsh. El código de Walsh tiene 64 bits de longitud y es generado a una velocidad de 1.2288 Mcps. Para que la entrada de datos de este bloque alcance esta velocidad de transmisión debe multiplicarse cada dato de entrada por un código de Walsh completo.

$$19.2 \text{ Kbps} \times 64 = 1.2288 \text{ Mcps} \quad (5.4)$$

La salida del multiplicador por el código de Walsh tiene una velocidad de 1.2288 Mcps y tiene una longitud de 768 bits. El código de Walsh es generado a partir de la matriz de Hadamard de dimensión de 64 x 64. Se escoge una de las 64 filas disponibles de la matriz para realizar la codificación de usuario.

$$12 \text{ bits} \times 64 = 768 \text{ bits} \quad (5.5)$$

A este vector de datos se le introducirán bits erróneos. Los cuales deben cumplir con las condiciones de la fórmula (5.2).

Luego de ello se realizará el desensanchamiento del código de Walsh, es decir se quita el código de Walsh de los datos, luego se realiza el *deinterleaving*.

La salida del bloque de deinterleaving está a una velocidad de 19.2 Kbps y consta de 12 bits, esta será la entrada del bloque de decodificador convolucional, el cual se realizará mediante el algoritmo de Viterbi, esta salida será la salida de datos recuperados.

### 5.6.2 Salida de la simulación

A continuación se muestra la salida de datos del programa `forwardlink_ruido.m`

>>

**DATOS TRANSMITIDOS**

1 0 1 0 1 1

**CODIGO CONVOLUCIONAL**

1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0

### INTERLEAVING

1 0 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0

### DATO\_ENSANCHADO

```

110000110011110000111100110000110011110011000011110000110011110000
111100110000111100001100111100110000110011110000111100110000110011
110011000011110000110011110011000011001111000011110011000011110000
110011110000111100110000110011110011000011110000110011110000111100
110000111100001100111100110000110011110000111100110000110011110011
000011110000110011110011000011001111000011110011000011001111001100
001111000011001111001100001100111100001111001100001100111100110000
111100001100111100110000110011110000111100110000111100001100111100
001111001100001100111100110000111100001100111100110000110011110000
111100110000110011110011000011110000110011110011000011001111000011
110011000011001111001100001111000011001111000011110011000011110000
110011110011000011001111000011110011000011

```

### DATO\_ENSANCHADO\_CON\_RUIDO

```

010000110011110000111100110000110011110011000011110000110011110000
111100110000111100001100111100110000110011110000111100110000110011
110011000011110000110011110011000011001111000011110011000011110000
110011110000111100110000110011110011000011110000110011110010111100
110000111100001100111100110000110011110000111100110000110011110011
000011110000110011110011000011001111000011110011000011001111001100
001111000011001111001100001100111100001111001100001100111100110000
111100001100111100110000110011110000111100110000110100001100111100
001111001100001100111100110000111100001100111100110000110011110000
111100110000110011110011000011110000110011110011000011001111000011
110011000011001111001100001111000011001111000011110011000011110000
110011110011000011001111000011110011000011

```

## DATO DESENSANCHADO

0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 1 0

## DEINTERLEAVING

0 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0

## DATOS RECIBIDOS

1 0 1 0 1 1

### 5.6.3 Resultados de la simulación del programa de adquisición del punto de inicio del código C/A y la frecuencia de portadora utilizado en el receptor por software de GPS

El código del programa desarrollado en Matlab 7.0 realiza la generación del de uno de los 32 código C/A asignados a cada uno de los satélites en órbita. Realiza la digitalización del código C/A generado localmente en el receptor. Encuentra el inicio del código C/A y la frecuencia de portadora mediante el proceso descrito por Tsui Yen.

Los datos utilizados se basan en la teoría expuesta por Tsui, se asume que los satélites visibles son el 6, 10, 17, 23, 24, 26 y 28 de los cuales se escogerá el satélite número 6 para generar su respectivo código C/A.

La frecuencia de muestreo utilizada para digitalizar el código localmente generado es 5MHz. Debido a que se utiliza una frecuencia de muestreo de 5 MHz y se requiere de 1 ms de dato para encontrar el inicio del código C/A se necesitan 5000 puntos de dato de entrada.

$$n = \frac{5M[muestras] \times 1 ms}{1000 ms} = 5000 \text{muestras} \quad (5.6)$$

Se asume que para la frecuencia de portadora se ha realizado una conversión directa desde la RF con una frecuencia de 1.25 MHz.

Para iniciar el proceso de adquisición se convierte el código C/A de 1023 bits de largo en un vector de 5000 puntos. Luego de ello la resolución gruesa de la frecuencia es encontrada. El siguiente paso es encontrar el código localmente generado por el receptor el cual está formado el código C/A digitalizado en 5000 muestras y la fórmula 5.1 descrita en el capítulo anterior.

Mediante la correlación circular del dato de entrada con el código localmente generado se obtendrá el punto de inicio del código C/A y la frecuencia gruesa de portadora.

#### 5.6.4 Salida de la simulación

A continuación se muestra la salida del programa adquisición\_ca.m. Los 20 primeros bits del código C/A generado para el satélite número 6.

CODIGO C/A PARA EL SATELITE SVNUM

1 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0

PUNTO INICIAL DEL CODIGO C/A

2850

FRECUENCIA GRUESA

1250000

De los datos obtenidos, éstos se pueden comparar con los datos teóricos expuestos por Tsui, específicamente para el satélite número 6.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES:

Una ventaja del sistema IS-95 CDMA es que es inmune a interferencias de otros usuarios con los que comparte el mismo canal pues codifica la información mediante bloques de *interleaving*, codificación convolucional, chequeo cíclico de redundancia y códigos de usuario pseudoaleatorios.

El ancho de banda utilizado para transmitir la información en IS-95 CDMA es mucho mayor que el necesario, esto le da apariencia de ruido y le hace inmune a escuchas no deseados. El ancho de banda de la información de usuario para Rate I es 9.6, 4.8, 2.4 y 1.2Kbps y el ancho de banda al que se transmite es a 1.2288Mbps es decir que la información utiliza de 128 a 1024 veces el ancho de banda que requiere para su transmisión.

Para la detección de datos, en el estándar IS-95 CDMA, el receptor debe conocer la secuencia ensanchadora que utilizó en transmisor al enviar los datos, si no conoce dicha secuencia la información recibida en el receptor se ensanchará nuevamente y no se logrará distinguir la información.

La calidad de voz en el sistema IS-95 CDMA dependerá del número de usuarios que compartan el canal y el nivel de interferencia que se causen unos con otros. Esto se logra mediante la utilización de códigos pseudoaleatorios perfectamente ortogonales entre sí.

La ganancia de procesamiento del sistema IS-95 CDMA cuantifica el grado de rechazo a la interferencia y esto será dado por el número de chips de PN por cada bit de datos.

La ganancia del sistema no puede ser ilimitada, pues el ancho de banda asignado para cada transmisión es limitada y para IS-95 CDMA es 1.2288Mbps.

La información de usuario es codificada a 19.2Kbps y se requiere que por cada bit de dato se transmita un código de Walsh completo con esto se conseguirá que los datos se transmitan a 1.2288Mcps.

Debido a que el sistema GPS no realiza codificación de información de usuario, los algoritmos de codificación de canal utilizados en el estándar IS-95 CDMA pueden acoplarse en el transmisor y receptor del sistema GPS para brindarle mayor robustez.

Los vocoder utilizados por el estándar IS-95 CDMA trabajan a velocidades variables 9.6, 4.8, 2.4 y 1.2Kbps velocidades que pueden ser disminuidas para utilizar de una forma más eficiente el ancho de banda disponible.

Uno de los limitantes que tiene el sistema IS-95 CDMA es el control de potencia que éste realiza, pues lo ejecuta 800 veces cada segundo y a esta velocidad aún no se garantiza la eliminación del problema *near – far* en el que el receptor que está más lejos de la estación base tiene mala calidad de voz y menor potencia a diferencia del receptor que está cerca de la estación base.

La velocidad de transmisión de datos que maneja el estándar IS-95 CDMA no permitirá la transmisión de video de alta definición, pues esta aplicación requiere de un ancho de banda mayor a los 2 Mbps.

En la simulación desarrollada en Matlab 7.0, la cantidad de ruido o número de errores que soporta el canal de ida del estándar IS-95 CDMA dependerá de la etapa del decodificador de Viterbi. En el presente trabajo se utilizó un codificador convolucional de dos registros de desplazamiento por lo que el número máximo de errores que puede

soportar la información transmitida debe cumplir con la fórmula 5.3.

Las técnicas de detección por software en el receptor se definen como técnicas que aceptan información de tráfico y control completamente programable y soportan un amplio rango de frecuencias, interfaces aéreas (CDMA IS-95, GPS, GSM, etc.) y aplicaciones de software, permitiendo flexibilidad su diseño y aplicaciones que puedan brindar.

Las técnicas de adquisición de la señal mediante software han sido probadas sobre el receptor GPS. El parámetro más relevante en la adquisición es el inicio del código C/A y la fase de la portadora, esto se consigue mediante la aplicación de la FFT sobre la señal de entrada y la digitalización del código C/A localmente generado en el receptor.

El programa p7\_1.m desarrollado por Tsui (TSUI, pp. 161-164) encuentra el punto de inicio del código C/A y la frecuencia de portadora. Los datos encontrados son la entrada de un programa de tracking el cual realizará la corrección de errores y resolución fina de los datos encontrados. La salida del programa de tracking son ángulos de fase, los cuales serán transformados en datos bi polares  $-1$  y  $+1$ .

Luego del estudio realizado se concluye que la información enviada por el sistema IS-95 CDMA es diferente que la enviada por el sistema GPS, el sistema IS-95 CDMA envía voz y datos por lo que para éste sistema da prioridad a la codificación de la información en tanto que para GPS este punto no es relevante.

En el sistema GPS se tiene un transmisor y un receptor. En el sistema GPS se tiene un receptor y varios emisores (hasta 24 satélites) que permitirán que el receptor tenga información de referencia redundante.

En referencia al programa p7\_1.m desarrollado por Tsui (TSUI, pp. 161-164) la adquisición de la información en el sistema GPS toma en cuenta los códigos C/A asignados a cada satélite y la ubicación de éstos, para el estándar IS-95 CDMA esta información no es relevante pero ha sido acoplada para el presente estudio, se ha utilizado el código C/A del satélite 6.

## 6.2 RECOMENDACIONES:

Se recomienda el uso de la encriptación de datos utilizada por el sistema IS-95 CDMA en aplicaciones que realicen transmisión de datos muy confidenciales como es el caso de transferencias bancarias.

Se recomienda que los códigos utilizados y sus réplicas desplazadas que realizan la codificación de usuario sean totalmente ortogonales entre sí para poder obtener la menor interferencia unos con otros.

Se recomienda el estudio de los algoritmos de codificación de canal utilizados en el estándar IS-95 CDMA para acoplarse en el transmisor y receptor del sistema GPS.

Se recomienda el estudio de la velocidad a la que pueden trabajar los vocoders en el estándar IS-95 CDMA y disminuirla para darle más robustez al sistema.

Se recomienda que el estándar IS-95 CDMA realice el control de potencia a mayor velocidad y se desarrollen algoritmos más depurados para que el sistema acepte más usuarios simultáneamente. Además se deberían diseñar receptores que requieran una potencia menor para detectar la señal de usuario.

En el algoritmo de detección por software estudiado se podría realizar una investigación para desarrollar una etapa de corrección de errores de los datos recibidos antes de ser pasados por el programa de adquisición, lo que reduciría la complejidad y tiempo de procesamiento en esta etapa y se analizaría la posibilidad de quitar la etapa de seguimiento o *tracking*.

El sistema IS-95 CDMA debe estar en la capacidad de aceptar y acoplar mejoras a los diseños ya establecidos que permitan brindar servicios de mejor calidad.

- Para la simulación de los programas desarrollados en el presente trabajo se recomienda que los parámetros de entrada a utilizarse sean analizados pues de

ello dependerán los resultados esperados y el tiempo de ejecución del programa. También se debe analizar la capacidad de procesamiento del computador utilizado.

- En el mercado actual de Telecomunicaciones en el Ecuador el tema del Software Radio aún no ha sido investigado por lo que se podría formar un grupo de investigación que desarrolle y realice pruebas acerca de esta nueva forma de recepción/detección de datos y conocer más profundamente sus ventajas y servicios que podrían implementarse en los receptores móviles.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

COUCH, León, **Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos**, quinta edición, Prentice Hall, Méjico 1997, 742.

GARG, Vijay, **IS-95 CDMA and cdma2000**, primera edición, Prentice Hall, USA 1999, 423.

LLUCH, Cayetano, **Comunicación móviles de tercera generación UMTS, II**, segunda edición, Telefónica Móviles España S.A, España 2001, 459.

OPPENHEIM, Alan, **Señales y Sistemas**, segunda edición, Prentice Hall, Méjico 1997, 956.

PEREZ, César, **Matlab y sus aplicaciones en las ciencias y la ingeniería**, primera edición, Prentice Hall, España 2002, 610.

RAPPAPORT, Theodore, **Smart Antennas for Wireless Communications**, primera edición, Prentice Hall, USA 1999, 191.

STALLINGS, William, **Wireless communications and networking**, segunda edición, Pearson Education, La India 2002, 584.

TORRES, Juan, **Diseño de una red celular para Quito en la Banda PCS**, Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador 2002, 81.

TSUI, James, **Digital Techniques for Wideband Receivers**, primera edición, Artech House, USA 1995, 518.

TSUI, Yen, **Fundamentals of Global Positioning System Receivers**, primera edición, John Wiley & Sons, USA 2000, 238

VERDU, Sergio, **Multiuser detection, primera edición**, Cambridge University, USA 1988, 450.

<http://www.mathworks.com>, Communications Toolbox.

<http://www.informit.com/articles/article.asp?p=28673&seqNum=2>, What Is a software radio?

<http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-104722369631841/unrestricted/etd.pdf>, Receiver implementations for CDMA cellular system.

<http://www.ap-asic.org/2000/proceedings/13-5.pdf>, A novel architecture of rake receiver.

<http://www.skydsp.com>, OFDM as a modulation technique for wireless communications, with CDMA comparison.

[www.sdrforum.org](http://www.sdrforum.org), Software Define Radio.

<http://www.informit.com>, Introduction to Software Radio Concepts.

<http://itc.mit.edu>, Software Radio: Implications for Wireless Services, Industry Structure, and Public Policy.

<http://www.comp.leeds.ac.uk>, Viterbi Algorithm.

<http://www.3gpp2.org>, Recommended Minimum Performance Specification for C.S0022-0 Spread Spectrum Mobile Stations.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1: Acrónimos

ADC	<i>Analog to Digital Converter</i> (Conversor análogo digital)
ASIC	<i>Application Specific Integrated Circuits</i> (Circuitos Integrados de Aplicación Específica)
AWGN	<i>Additive White Gaussian Noise</i> (Ruido blanco gaussiano aditivo)
BPSK	<i>Binary Phase-Shift Keying</i> (Modulación de Fase Binaria)
C/A	<i>Coarse/ Acquisition</i> (Gruesa / Adquisición)
C/N	<i>Carrier to Noise</i> (Relación portadora a ruido)
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i> (Acceso múltiple por división de código)
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i> (Código de redundancia cíclica)
DSP	<i>Digital Signal Processors</i> (Procesador Digital de Señal)
DS-SS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i> (Espectro ensanchado de secuencia directa)
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i> (Transformada Rápida de Fourier)
FP-GA	<i>Fiel Programmable Gate Arrays</i> (Arreglos de Compuerta de Campo Programmable)
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamiento Global)

---

IF	<i>Intermediate Frecency</i> (Frecuencia Intermedia)
IS-95	<i>nterim Standard 95</i> (Estándar provisional 95 )
LNA	<i>Low Noise Amplifier</i> ( Amplificador de bajo ruido)
MSC	<i>Mobile Switching Center</i> (Central de conmutación de móviles)
P	<i>Precision</i> ( Precisión)
PN	<i>Pseudo Noise</i> (Pseudo- ruido)
PNR	<i>Pseudo Noise Number</i> (Número de Pseudo- ruido)
PSK	<i>Phase Shift Keying</i> (Modulación por desplazamiento de fase)
QPSK	<i>Quadrature Phase-Shift Keying</i> (Modulación de Fase Cuaternaria)
RF	<i>Radio Frecuency</i> ( Radio Frecuencia)
SBS	<i>Switched Beam System</i> ( Sistema de Radiación Conmutado)
SDR	<i>Software Defined Radio</i> ( Radio Determinado por Software)
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i> (Relación de señal a ruido)

## ANEXO 2: Código de programas desarrollados en Matlab 7.0

- a. CÓDIGO DE PROGRAMA QUE GRAFICA LA AUTOCORRELACION DE UN VECTOR DADO.

('AUTOCORRELACION DE UN VECTOR DADO')

```

***** DEFINICION DE VARIABLES *****

A=[ ];
B=[ ];
R=[ ];
T=[ ];
A =input('Ingrese el vector A :'); %A=[1 -1 1 1 1 -1 -1];
n=input('Ingrese el número de cambios que tendrá el vector dado n = ');
fila=length(A);
m=0;

***** CODIGO *****

for j=1:n % for global
    T(j)=m;
    res=rem(j-1,fila);
    m=m+1;

    if res==0
        B=A;cc=fila;nc=0;
    else
        B(1)=A(fila);
        for i=1:fila-1 % recorrer
            B(i+1)=A(i);
        end % recorrer
        disp(A);

```

```
cc=0; nc=0;
for i=1:fila % comparar
    if B(i)==A(i)
        cc=cc+1;
    else nc=nc+1;
    end
end% comparar
end % if global
R(j)=cc-nc;
A=B;
```

\*\*\*\*\* PRESENTACION DE RESULTADOS \*\*\*\*\*

```
plot(T,R);
xlabel('Número de cambios')
ylabel('Autocorrelación')
grid

end % for global
```

## b. CÓDIGO DE PROGRAMA QUE CALCULA LA CORRELACIÓN DE DOS CÓDIGOS DE WALSH DADOS

```

*****          VARIABLES - Capturar dos codigos de Walsh
*****

WALSH=[]; % Los elementos de este vector son los de la matriz Hadamard
WALSH1=[]; %Codigo Walsh1
WALSH2=[]; %Codigo Walsh2
n=input('Ingrese el índice de la matriz n de Hadamard:');
***** CODIGO - Capturar dos codigos de Walsh *****
HADAMARD(n);
WALSH=HADAMARD(n);
('MATRIZ HADAMARD')
disp(HADAMARD(n));
('Se han generado n codigos de Walsh, a continuacion escoger dos:')
codigo1=input('Ingrese el numero del codigo1 a correlacionarse:');
WALSH1=WALSH(codigo1,:) %Codigo de Walsh # 1
codigo2=input('Ingrese el numero del codigo2 a correlacionarse:');
WALSH2=WALSH(codigo2,:) %Codigo de Walsh # 2

*****          VARIABLES - Muestreo por bit *****

muestras_bit=input('Ingrese el numero de muestras por bit:');
R=[]; % Este vector toma cada elemento ensanchado del codigo Walsh
C=[];
j=1;
WALSH1_EN=[ ];
z=length(WALSH1)

***** CODIGO - Muestreo por bit *****

```

```

UNOS=ones(muestras_bit,muestras_bit); % Matriz cuadrada de unos.
for i=1:z;
    R=WALSH1(i)*ones(1,muestras_bit);
    UNOS(i,:)=R ;
    j=j+1;
end % z
C=UNOS';
('CODIGO WALSH1 ENSANCHADO, por numero de muestras por bit')
WALSH1_EN=C(:)

```

```

UNOS=ones(muestras_bit,muestras_bit); % Matriz cuadrada de unos.
for i=1:z;
    R=WALSH2(i)*ones(1,muestras_bit);
    UNOS(i,:)=R ;
    j=j+1;
end % z
C=UNOS';
('CODIGO WALSH2 ENSANCHADO, por numero de muestras por bit')
WALSH2_EN=C(:)

```

\*\*\*\*\* VARIABLES - Correlacion cruzada \*\*\*\*\*

```

WALSH2_DESP=[];
R=[];
T=[];
m=0;
leg=length(WALSH1_EN)

```

\*\*\*\*\* CODIGOS - Correlacion cruzada \*\*\*\*\*

```

for j=1:leg
    T(j)=m;
    res=rem(j-1,leg);

```

```
m=m+1;

WALSH2_DESP(1)=WALSH2_EN(leg);
for i=1:leg-1
    WALSH2_DESP(i+1)=WALSH2_EN(i);
end
cc=0; nc=0;
for i=1:leg
    if WALSH2_DESP(i)==WALSH1_EN(i)
        cc=cc+1;
    else nc=nc+1;
    end
end
end
R(j)=cc-nc;
WALSH2_EN=WALSH2_DESP;
```

```
***** PRESENTACION DE RESULTADOS
```

```
*****
```

```
plot(T,R);
xlabel('Número de cambios')
ylabel('Autocorrelación')
grid

end
```

**c. CÓDIGO DE PROGRAMA QUE REALIZA LA CODIFICACIÓN CONVOLUCIONAL, SE UTILIZA UN REGISTRO DE DESPLAZAMIENTO DE DOS ETAPAS**

```
%***** DEFINICION DE VARIABLES *****
```

```
A=[1 1 0 0 1 0 1 1 0 1];
n= 3; % El número de estados de desplazador de registro
B=zeros(1,n);
longitud=length(A);
C=zeros(1,2*longitud);
i=1;
k=1;
```

```
***** CODIGO *****
```

```
for k=1:longitud % se repite hasta convolucionar todo el dato
    if i==1
        B(i)=A(k);
        p=xor(B(n-2),B(n));
        q=xor(p,B(n-1));
        C(i)=p;
        C(i+1)=q;
        i=i+1;
        k=k+1;
    else
        B(n)=B(n-1);
        B(n-1)=B(n-2);
        B(n-2)=A(k);
        p=xor(B(n-2),B(n))
        q=xor(p,B(n-1))
```

```
C(i*2-1)=p;  
C(i*2)=q;  
i=i+1;  
k=k+1;  
disp(C);  
  
end  
end
```

**d. CÓDIGO DE PROGRAMA QUE REALIZA EL INTERLEAVING DE  
UNA VECTOR DE DATOS BINARIOS DADO**

```
% El vector de datos puede ser de dimension n =24
% PARA FORWARD LINK SE USA UNA MATRIZ DE 24 X 16

***** DEFINICION DE VARIABLES *****

longitud=length(A);
fintr=6;
cintr=4
Interl=zeros(fintr,cintr);
A=[1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1];
fila=1;
col=1;
k=1;
i=1;
B=[ ];

***** CODIGO *****

for col=1:cintr
    for k=1:fintr
        Interl(fila,col)=A(i);
        fila=fila+1;
        k=k+1;
        i=i+1;
    end
    col=col+1;
    fila=1;
    k=1;
end
disp(A);
disp(Interl);

fila=1;
col=1;
k=1;
i=1;

for fila=1:fintr
    for k=1:cintr
        B(i)=Interl(fila,col);
        col=col+1;
        k=k+1;
        i=i+1;
    end
end
```

```
fila=fila+1;  
col=1;  
k=1;  
end
```

```
disp(B);
```

**e. CÓDIGO DE PROGRAMA QUE REALIZA LA SIMULACIÓN DEL ENLACE DE IDA DEL ESTÁNDAR IS-95 CDMA**

LA SIMULACION DEL CANAL DE IDA CONSTA DE LOS SIGUIENTES BLOQUES

```
% 1.- GENERACION DE DATOS 9.6 Kbps
% 2.- CONVOLUCIONAL 19.2 Kbps
% 3.- INTERCALADOR 19.2 Kpbs
% 4.- MULTIPLICACION CODIGO DE WALSH
% 5.- RUIDO DEL CANAL
% 6.- MULTIPLICACION CODIGO DE WALSH
% 7.- DEINTERLEAVING
% 8.- DECODIFICADOR CONVOLUCIONAL
% 9.- SALIDA DE DATOS
```

```
%
```

```
*****
*****
```

1.- INGRESO DE DATOS

```
*****
```

```
Datx=[1 0 1 0 1 1];
disp('DATOS TRANSMITIDOS');
disp(Datx);
```

```
*****
*****
```

2.- CODIFICADOR CONVOLUCIONAL

```
*****
```

```
% Codificador convolucional el cual tiene un bit de entrada por dos datos
% convolucionados. Se utiliza un registro de desplazamiento de dos etapas,
% este numero sumado 1 es igual al entero utilizado como parametro por la
% funcion polytrellis, El registro de desplazamiento tiene una forma tal de
```

```
% retroalimentacion que cada registro representa el 5 (101) y 7 (111), en
% octal.La salida son 12 bits codificados.
```

```
trellis=poly2trellis(3,[5 7]);
disp ('CODIGO CONVOLUCIONAL');
convolucional=convenc(Datatx,trellis) % Salida del bloque codificador
convolucional.
```

```
*****
*****
```

### 3.- INTERLEAVING

```
*****
```

```
% Debido a que la salida del codificador convolucional es igual a 12 bits,
% para el bloque de interleaving es una matriz de fintr x cintr.
```

```
fintr=4;
cintr=3;
fila=1;
col=1;
k=1;
i=1;
interleaving=[]; % Vector que representa la salida del bloque de interleaving
longitud=length(convolucional);
interl=zeros(fintr,cintr); % Inicializa la matriz. Aqui se convierte en
% matriz el vector convolucional.
```

```
for col=1:cintr
    for k=1:fintr
        interl(fila,col)=convolucional(i);
        fila=fila+1;
        k=k+1;
        i=i+1;
    end
    col=col+1;
```

```

fila=1;
k=1;
end

fila=1;
col=1;
k=1;
i=1;

for fila=1:fintr    % Este ciclo convierte en vector la matriz interl
    for k=1:cintr
        interleaving(i)=interl(fila,col); % Salida del bloque Interleaving
        col=col+1;
        k=k+1;
        i=i+1;
    end
    fila=fila+1;
    col=1;
    k=1;
end

disp('INTERLEAVING');
disp(interleaving);
*****
*****
4          ENSANCHAMIENTO CON EL CODIGO DE WALSH
*****

% Este bloque genera una matriz de codigos de Walsh, de los cuales se escoge
% uno para asignar al usuario. Debido a que los datos estan intercalados
%(interleaving) a 19.2 k y el codigo de Walsh tiene una velocidad de 1.2288Mbps.
%  $1.2288M / 19.2 K = 64$ . Por tanto se deberia ensanchar cada uno de los
% datos por un codigo de Walsh completo.

```

```
% Este bloque genera n codigos de Walsh
walsh_user=[]; %Codigo de Walsh a utilizarse
n=64;
codigouser=n-1; % Se escoge el codigo de Walsh para el usuario
walsh=HADAMARD(n);
walsh_user=walsh(codigouser,:);

for a=1:n
    if walsh_user(a)==1
        walsh_user(a)=1;
    else walsh_user(a)=0;
    end
    a=a+1;
end

disp('walsh_user');
disp(walsh_user);
d=length(interleaving);
w=n;
datoen=zeros(1,d*w);
zeta=d*w; % longitud del dato ensanchado
i=1;
z=1;
e=1;
    for z=1:d
        for i=1:w
            datoen(e)=xor(interleaving(z),walsh_user(i));
            datoen(e)=xor(datoen(e),1);
            i=i+1;
            e=e+1;
        end
        z=z+1;
        i=1;
```

```

end
%disp('datoen');
disp('ENSACHAMIENTO DE LOS DATOS POR EL CODIGO DE WALSH');
%disp(datoen);

```

```

*****

```

## 5.- RUIDO DEL CANAL

```

*****

```

```

s_ruido=datoen;
rt=length(s_ruido);
r=1;
for r=1:n*4:rt
    if s_ruido(r)==1
        s_ruido(r)=0;
    else s_ruido(r)=1;
    end
r=r+n;
end
%disp('s_ruido');
%disp(s_ruido);
disp('RUIDO EN EL CANAL');

```

```

*****

```

```

*****

```

## EN EL RECEPTOR

```

*****

```

```

*****

```

## DESENSANCHAMIENTO POR EL CODIGO DE WALSH

```

*****

```

```

*****

```

```

% Este ciclo convierte a dato ensanchado en una matriz de w x den, tal que la
% columna d es de dimension igual a la longitud del codigo de walsh.

```

```
desen=[ ];
matriz=[ ];
wn=[ ];
fila=1;
col=1;
k=1;
i=1;
% Este ciclo convierte a dato ensanchado en una matriz de w x d
for col=1:d
    for k=1:w
        matriz(fila,col)=s_ruido(i); % aqui antes estaba s_ruido
        fila=fila+1;
        k=k+1;
        i=i+1;
    end
    col=col+1;
    fila=1;
    k=1;
end

% Este ciclo compara cada columna del dato ensanchado con el codigo de
% Walsh, el resultado lo coloca en el vector desen, el cual es el dato
% original
for col=1:d
    if matriz(:,col)'==walsh_user
        desen(col)=1;
    else desen(col)=0;
    end
    col=col+1;
end
disp('DATO DESENSANCHADO')
disp(desen);
```

```
*****
```

```
*****
```

### DEINTERLEAVING

```
*****
```

```
*****
```

```
fintr=4;
```

```
cintr=3;
```

```
deinterleaving=[]; % Vector que tendra la salida del bloque deinterleaving
```

```
fila=1;
```

```
k=1;
```

```
i=1;
```

```
for fila=1:cintr
```

```
    for j=1:fintr
```

```
        deinterleaving(i)=desen(k); %%%%%%%%% aqui decia interleaving
```

```
        k=k+3;
```

```
        i=i+1;
```

```
        j=j+1;
```

```
    end
```

```
fila=fila+1;
```

```
k=fila;
```

```
end
```

```
disp('DEINTERLEAVING');
```

```
disp(deinterleaving);
```

```
*****
```

```
*****
```

### VITERBI: DECODIFICACION CONVOLUCIONAL

```
*****
```

```
*****
```

```
trellis=poly2trellis(3,[5 7]);
```

```
Datarx=vitdec(deinterleaving,trellis,1,'trunc','hard');
```

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

SALIDA DE DATOS

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

disp('DATOS RECIBIDOS');

disp(Datarx);

**f. CÓDIGO DE PROGRAMA BASADO EN LA SIMULACIÓN  
DESARROLLADA POR TSUI PP. 163-164. ESTE PROGRAMA  
GENERA LOS 32 CÓDIGOS C/A PARA LOS SATÉLITES GPS**

```
function [ca]=codegen(svnum); % MUESTRA EL RESULTADO DEL CODIGO C/A  
GENERADO
```

```
% Este programa genera uno de los 32 códigos C/A
```

```
% [ca] : es un vector que contiene la secuencia de salida deseada
```

```
% g2s los elementos del vector g2s indican el desplazamiento apropiado del
```

```
% código g2 para generar el código C/A
```

```
% Para el valor del desplazamiento se utiliza el vector g2s tomado del libro
```

```
% de Tsui
```

```
g2s = [5;6;7;8;17;18;139;140;141;251;252;254;255;256;257;258;469;470;471; ...  
472;473;474;509;512;513;514;515;516;859;860;861;862];
```

```
g2shift = g2s(svnum,1);
```

```
%***** GENERA EL CODIGO G1 *****
```

```
% Inicializa el registro de desplazamiento
```

```
reg = -1*ones(1,10);
```

```
for i = 1:1023
```

```
g1(i) = reg(10);
```

```
save1 = reg(3)*reg(10);
```

```
reg(1,2:10) = reg(1:1:9);
```

```
reg(1) = save1;
```

```
end,
```

```
%***** GENERA EL CODIGO G2 *****
```

```
% Inicializa el registro de desplazamiento
```

```
reg = -1*ones(1,10);
```

```
for i = 1:1023
    g2(i) = reg(10);
    save2 = reg(2)*reg(3)*reg(6)*reg(8)*reg(9)*reg(10);
    reg(1,2:10) = reg(1:1:9);
    reg(1) = save2;
end,

% ***** DESPLAZAMIENTO DEL CODIGO G2 *****

g2tmp(1,1:g2shift)=g2(1,1023-g2shift+1:1023);
g2tmp(1,g2shift+1:1023)=g2(1,1:1023-g2shift);
g2 = g2tmp;

% SALIDA DE LA MULTIPLICACION DEL LOS CODIGOS G1 Y G2

ss_ca = g1.*g2;
ca = ss_ca;

% Cambio de salidas del código C/A a 1 y 0

ind1=find(ca==-1);
ind2=find(ca==1);
ca(ind1)=ones (1,length(ind1));
ca(ind2)=zeros (1,length(ind2));
% ca(1:10); % Despliega los 10 primeros bits
```

**g. PROGRAMA BASADO EN LA SIMULACIÓN REALIZADA POR  
TSUI PP. 161-163**

```

% Este programa realiza la adquisición de fase sobre los generado
% y el inicio del código C/A

% ***** Condiciones iniciales *****
svnum = [6 ];%10 17 23 24 26 28]; % Número de satélites visibles
fs = 5e6;      % frecuencia de muestreo
ts = 1/fs;     % tiempo de muestreo
n = fs/1000; % puntos de datos en 1 ms
nn=[0:n-1]; % Número total de puntos
fc =1.25e6; % frecuencia central . Frecuencia de salida del ADC.
% Se asume que se utiliza la conversión directa desde la RF

% ***** Datos de entrada *****
len = 5000;
x2 = randint(len,1,2); % Original signal

yy =zeros(21,n); % 21 x 5000

% ***** INICIO DE LA ADQUISICION *****
code = digitizg(n,fs,0,svnum); % Digitize C/A Code. El código de 1023 bits
% se convierte en un código de 5000 muestras.
xf = fft(x2(1:n));

for i = [1:21]; % Encuentra frecuencia gruesa a 1 KHz de resolución
    fr(i) = fc - 10000+(i-1)*1000;
    lc(i,:) = code.*(exp(j*2*pi*fr(i)*ts*nn)); % Generación del código local C/A
    lcf = fft(lc(i,:)); % Transformada de Fourier del código local
    yy(i,:) = ifft(xf.*conj(lcf)); % Correlación circular del código local e o señal de entrada;

end ; %for i = [1:21];

```

```
ma=yy';  
[amp crw] = max(max(abs(ma)));  
[amp ccn] = max(max(abs(yy)));  
  
disp('PUNTO INICIAL');  
pt_init = ccn % initial point  
disp('FRECUENCIA GRUESA');  
cfrq = fc+1000*(crw-11) %freq. gruesa
```

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURAS DEL CAPITULO II:</b>	<b>Pág.</b>
Figura. 2.1. Aplicación de los códigos de Walsh y PN en la Estación Base	8
Figura. 2.2 Valor de autocorrelación vs. número de lags	10
Figura. 2.3 Correlación cruzada de dos códigos de Walsh	11
Figura. 2.4 Codificador convolucional de tres registros de desplazamiento	13
Figura. 2.5 Asignación de códigos de Walsh en el enlace de ida	24
Figura. 2.6 Estructura del canal piloto, sincronismo y paging del enlace de ida	25
Figura. 2.7 Estructura del canal de tráfico para el enlace de ida	27
Figura. 2.8 Procesamiento del canal de tráfico en el enlace de retorno	29
Figura. 2.9 Softer handoff	33
Figura. 2.10 Estructura básica del Receptor RAKE	36
Figura. 2.11 Etapas del proceso de llamada en el sistema CDMA	36
<b>FIGURAS DEL CAPITULO III:</b>	
Figura 3.1 Esquema de hardware para el receptor de radio tradicional	40
Figura 3.2 Esquema de hardware para el receptor IS-95 CDMA	41
Figura 3.3 Tecnología de smart antena, sistema de radiación conmutado	42
Figura 3.4 Tecnología de smart antena, arreglo de antenas	42
<b>FIGURAS DEL CAPITULO IV:</b>	
Figura 4.1 Hardware de un receptor básico	45
Figura 4.2 Etapas del hardware del receptor GPS	46
Figura 4.3 Arreglo de recolección de datos mediante digitalización directa	51
<b>FIGURA DEL CAPITULO VI:</b>	
Figura. 5.1. Diagrama de bloques de un sistema basado en Software Radio	55

