

**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de  
Monterrey  
Campus Ciudad de México  
División de Ingeniería y Arquitectura**



**Proyecto de Ingeniería**

**Autores:**

Gabriela Quintero Díaz de León 711040  
José Luis Lagunas Morales 711730

**Asesor:**

M en C. Flavio Lucio Pontecorvo

**Profesor:**

Dr. Alfonso Parra



México DF, Mayo 2003

---

---

# Índice

<b>Prefacio</b>	I
<b>1. Definición del Proyecto</b>	
1.1 Justificación	
1.2 Procedimiento	1
1.3 Establecimiento de la organización del proyecto	2
1.3.1 Integrantes del equipo	2
1.3.2 Responsabilidades del Administrador	2
1.4 Definición de los parámetros del proyecto	3
1.4.1 Objetivo	3
1.4.2 Alcance del proyecto	3
1.4.3 Recursos	3
1.4.4 Entregables	3
1.5 Planeación de la estructura del proyecto	4
1.5.1 Horario de junta semanal	4
1.5.2 Toma de decisiones	4
1.6 Desarrollo de la estructura de trabajo	5
1.7 Extra	5
<b>2. Marco Teórico</b>	6
2.1 La Radio en México	6
2.1.1 Historia de la Radio en México	6
2.1.1.1 Los años 20's	7
2.1.1.2 Los años 30's, símbolo de auge y prosperidad	7
2.1.1.3 Evolución Radifónica	8
2.1.1.4 Personalidades en la radio	9
2.1.2 Datos estadísticos de la Radio en México	9
2.1.3 Especificaciones técnicas de la Radio en México	13
2.2 Tecnologías aplicables a la transmisión de radio	14
2.2.1 TDMA: Time Division Multiple Access	14
2.2.2 Internet	15
2.2.2.1 Demanda y calidad de transmisión	15
2.2.2.2 Fuente y tipo de transmisión	17
2.2.2.3 Sistemas de transmisión de audio en tiempo real	18
2.3 Tipos de conversión Analógico Digital	18
2.3.1 PCM	18
2.3.2 DPCM	21
2.3.3 ADPCM	22
2.3.5 Modulación Delta	22
2.4 Teoría de CDMA	25
2.4.1 CDMA	25
2.4.1.1 Esparcir el Espectro	27

---

---

---

<b>3. Diseño</b>	30
3.1 Análisis del número de canales	30
3.2 Diseño de Código	31
3.3 Diagrama a Bloques del Circuito	33
3.4 Conclusiones obtenidas de la investigación	34
<b>4. Implementación</b>	36
4.1 Modulador	36
4.1.1 Sincronización	36
4.1.2 Expansión en Frecuencia	38
4.1.2.1 Registros	38
4.1.2.2 XOR	39
4.1.3 Suma de canales	40
4.2 Modulación y demodulación en frecuencia	41
4.3 Demodulador	42
4.3.1 Recuperación de sincronía	42
4.3.2 Circuitos de duplica	43
4.3.2.1 Circuito doblador de frecuencia	43
4.3.3 Demodulación	45
4.3.3.1 Método de multiplicación y suma	45
4.3.3.1.1 Multiplicación	45
4.3.3.1.2 Circuito Sumador-Acumulador	46
4.3.3.2 Filtro Adoptivo	48
4.3.4 Etapa de decisión	48
<b>5. Resultados</b>	50
5.1 Circuitos Finales	50
5.1.1 Circuito Modulador	50
5.1.2 Circuito Demodulador	51
5.2 Resultados Gráficos	52
5.2.1 Modulador	52
5.2.1.1 Señal de reloj	52
5.2.1.2 Códigos	53
5.2.1.3 Modulación	54
5.2.2 Demodulador	56
5.2.2.1 Recuperación de sincronía	56
5.2.3 Demodulación	59
5.2.4 Sumador-Acumulador	61
<b>6. Conclusiones</b>	64
<b>7. Trabajo Futuro</b>	67
<b>8. Referencias</b>	68

---

---

---

# Prefacio

Las sociedad comprendió hace tiempo la importancia de las telecomunicaciones en todos los aspectos del desarrollo humano sean estos económicos, políticos, educativos, etc. Es por esta razón que siempre se está en busca de nuevas tecnologías o nuevas aplicaciones de éstas, que permitan contar con información de manera oportuna. Una sociedad exitosa es aquella que está comunicada en cada rincón y utiliza esa información para alcanzar un desarrollo común.

Una de las formas de comunicación más poderosas desde hace años es la radio. Este es un espacio de entretenimiento, de información diversa y hasta de expresión didáctica y cultural; es un vínculo de enlace social. En México la radio goza del agrado de una gran parte de la población, es escuchada a toda hora y en todo lugar alcanzado por la señal emitida. La gente ha tenido siempre varias opciones a escoger dentro de la amplia gama de transmisiones que tienen las estaciones, ya sea en la banda de AM o de FM.

Es notable que la mayoría de los radioescuchas prefieren el FM, puesto que cuenta con una calidad de señal mayor a la de AM y más ventajas al momento de transmitir, una de estas es el mayor ancho de banda de la señal audible. Por esta razón, este proyecto fue diseñado para aumentar las posibilidades de transmisión en esta banda, como un intento por mejorar las telecomunicaciones en México. Combinando una de las tecnologías actuales en la telefonía celular: el CDMA y la radio de banda FM, surgió la idea de Radio CDMA. El doblar el número de estaciones de radio en esta banda, es un proyecto de grandes beneficios para la sociedad mexicana. El número actual de estaciones es 24, al concluir este proyecto se pretende contar con 48 estaciones de radio en el cuadrante de FM, esto significa un mayor número de alternativas para que el radioescucha elija.

Los beneficios del Radio CDMA no son sólo para los que escuchan la radio, los negocios ahora tendrán más oportunidades de tener un espacio en el aire y de anunciar sus productos o servicios. Habrá la oportunidad de que surjan estaciones con enfoque educativo y/o cultural que son tan necesitadas en la sociedad mexicana.

Radio CDMA es un intento por alcanzar un desarrollo mayor en México y una retribución a los beneficios que hemos obtenido de esta sociedad.

Gabriela Quintero  
José Luis Lagunas

# 1. Definición del Proyecto

## 1.1 Justificación

Los problemas particulares de la radio en México, que son tema de esta investigación son: el social y el técnico. En México hay aproximadamente 1142 estaciones distribuidas por 20 grupos radiofónicos, de los cuales sólo cuatro o cinco son representativos. En el Distrito Federal hay aproximadamente 62 estaciones de radio en AM y FM pertenecientes a 10 grupos. Es una competencia desleal y los grandes empresarios son dueños de la mayoría de estas estaciones puesto que se han dedicado a engrandecer sus grupos de radio con la compra de las estaciones de radio de más auge.

El problema técnico consiste en que todo el espectro asignado para la transmisión de las estaciones de radio está ocupado. No puede ser ampliado ya que el espectro que colinda con el ancho de banda de AM y FM está ocupado también, es decir, no pueden ser expandidos, la asignación la dio la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. La Comisión Federal de Telecomunicaciones ha sido presionada para buscar una solución a este problema (aparentemente sin éxito) hace algún tiempo. Hay propuestas de reformar la Ley de Radio y Televisión para que sea reconocido el derecho de organizaciones ciudadanas de comunicadores a contar con espacios y frecuencias para transmitir sus mensajes

## 1.2 Procedimiento

Nuestra propuesta es ampliar el número de estaciones de radio sin tener que aumentar el espectro radioeléctrico, utilizando la tecnología Code División Multiple Acces (CDMA). Se trata de sumar la transmisión de un número de radiodifusoras, modular la señal resultante en FM o AM según el caso y transmitir normalmente. Al recibir la señal un radio, éste demodulará la señal y el usuario seleccionará entre las diferentes radiodifusoras, pero siempre en la misma frecuencia. Por ejemplo 98.5 ahora podrá ofrecernos 2 diferentes señales de radio sin tener que avanzar o retroceder en el espectro. Esto es posible gracias a que antes de la suma de las señales de las radiodifusoras, se multiplican por sendos códigos, o sea se modulan con un algoritmo diferente cada una. Sólo se podrán modular cuando las señales a transmitir sean digitales, no puede haber señales analógicas

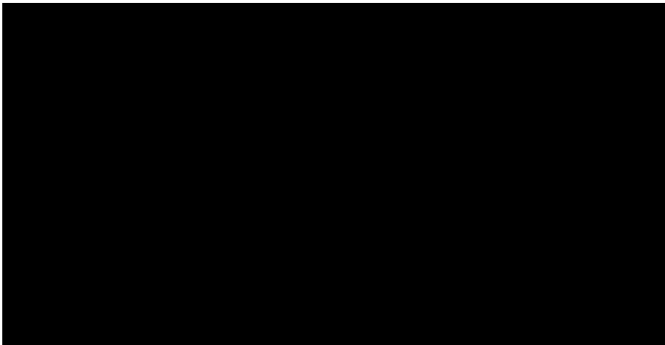
en el proceso, pero las señales de radio digitales son cada vez más comunes y esta no es una limitante para el proyecto. Después de la suma se modula la frecuencia de la resultante y se transmite, como ya se había explicado.

Al llegar al radio, éste demodula la señal y obtiene la suma de las señales anteriormente moduladas; en este momento el usuario escoge una de las diferentes señales a demodular. Cuando el usuario hace su elección, el código de esa estación de radio se multiplica por la suma de señales y solamente la información requerida se escuchará en el radio. El circuito demodulador de CDMA sabrá cual es la estación elegida puesto que la integral de la multiplicación del código por la suma de señales es igual a un bit de la señal original. La potencia requerida para enviar la suma de señales es la misma que usan las estaciones cuando modulan la amplitud o la frecuencia.

Esta nos parece una buena solución al problema antes mencionado y sería viable dentro de los rubros económico y técnico.

### **1.3 Establecimiento de la organización del proyecto**

#### **1.3.1 Integrantes del Equipo:**



#### **1.3.2 Responsabilidades del Administrador:**

- Supervisor del cumplimiento de las tareas por parte de los integrantes del equipo así como la asignación de éstas.
- Planear el desarrollo del proyecto desde las tareas básicas hasta las de mayor dificultad.
- Asumir las consecuencias por fallos en el resultado.
- Es el enlace entre los integrantes del equipo y el asesor del proyecto.
- Asegurarse que todos los miembros del equipo entienden y usan procedimientos de administración de proyectos
- Asegurarse que todos los miembros del equipo deben entender y aceptar sus responsabilidades
- Cuidar los recursos y enfocarlos al desarrollo y ejecución del plan
- Hacer ajustes al plan

- Mantener el archivo del proyecto
- Resolver conflictos
- Reportar los resultados.

## 1.4 Definición de los parámetros del proyecto

### 1.4.1 Objetivo

Dar una solución al problema de la saturación del espectro radioeléctrico destinado a la radio comercial, sin ampliar el ancho de banda establecido; duplicando el número de estaciones de radio mediante el uso de tecnología CDMA.

### 1.4.2 Alcance del Proyecto

Implementación de un MODEM CDMA que realice una transmisión de radio con dos señales codificadas y moduladas, así como la recepción y recuperación de la información transmitida.

### 1.4.3 Recursos

- Equipo de Laboratorio de Sistemas de Comunicación.
- Blackboard
- Laptop
- Componentes electrónicos varios
- Libros, revistas, artículos, etc.
- Fondo de ahorros por partes iguales de un monto de \$2,000 cada uno (sujeto a cambios).

### 1.4.4 Entregables

- Dos circuitos moduladores CDMA para las diferentes señales digitales de radio. Estos circuitos serán complementados por un circuito sumador de señales para después pasar al modulador en amplitud o frecuencia.
- Circuito demodulador CDMA para el receptor de señales radiofónicas.

<b>QUE ES?</b>	<b>QUE NO ES?</b>
Transmisión de señales de radio.	No vamos a utilizar estaciones comerciales de radio reales.
Utilizar aparatos de comunicación disponibles en el laboratorio.	No se diseñarán aparatos tales como un modulador en amplitud y frecuencia.
Se modularán y demodularán dos señales.	No se creará un prototipo comercial.

## 1.5 Planeación de la estructura del proyecto

### 1.5.1 Horario de junta semanal

José Luis Lagunas Morales.

Clave	Materia	Horario	Salón
E_95018-1	Telefonía digital	10M	Q-A2-308
E_00881-1	Proyectos de ingeniería I	12L	Q-A2-308
OR95803-9	Valores en el ejercicio profesional	11L	Q-A3-101
IN95861-1	Evaluación de proyectos	1430M	Q-A3-AM08
CE95002-93	Clínica empresarial II	17SA	XXX-XXX
MR00022-1	Control digital	14L	Q-A4-301

Gabriela Quintero Díaz de León.

Clave	Materia	Horario	Salón
RI00801-18	Sociedad y desarrollo en México	13L	Q-A4-006
E_00881-2	Proyectos de ingeniería I	15L	Q-A2-402
IN95861-1	Evaluación de proyectos	1430M	Q-A3-AM08
MR00022-1	Control digital	14L	Q-A4-301
CS00881-3	Redes I	830M/10SA	Q-A2-409/Q-A3-SC09
E_00873-2	Sistemas de comunicaciones	7L	Q-A2-402

Nuestra hora de reunión será a las 12p.m. los lunes, además, de las horas de clase de Proyectos I.

### 1.5.2 Toma de Decisiones

Las decisiones internas del equipo serán tomadas por unanimidad, ya que sólo somos dos integrantes. En caso de que uno de los dos no esté de acuerdo se comentará más sobre el problema y se acudirá con el asesor para una mejor solución.

Tema #	Fecha	Creador	Descripción e Impacto	Dueño	Fecha de Resolución	Status

Utilizaremos el formato siguiente para la resolución de los problemas.



## 1.6 Desarrollo de la estructura de trabajo

### 1. Antecedentes

- La Radio en México.
- Especificaciones técnicas de la radio.
- Tecnologías aplicables a la transmisión de radio.
- Teoría de CDMA.
- Aplicaciones de CDMA en la actualidad.

### 2. Desarrollo

- Análisis espectral del ancho de banda de 800KHz de las estaciones.
- Reconocimiento de la técnica CDMA aplicada a la radio.
- Estudio y establecimiento de los recursos a utilizar (costos, existencia, etc).

### 3. Implementación

- Elaboración de los diferentes circuitos.
- Programación de los códigos.
- Adquisición de los componentes.
- Armado del circuito.
- Pruebas.

### 4. Presentación

- Preparación del material a exponer (póster, filminas, circuitos, etc.).

## 1.7 Extra

- Estudio de las posibilidades de implementación.

Y QUÉ SI...?	PUES...
Los componentes son muy caros.	Tendremos que adecuarnos a la tecnología a nuestro alcance, investigar la posible implementación con estos nuevos dispositivos. En un lapso de tiempo muy corto.
Se quema el circuito al final.	Armaremos dos circuitos a la par para no tener problemas con esto.
La computadora falla y el trabajo se pierde.	El trabajo será guardado en la computadora de cada uno. Además se subirá cada avance a la plataforma.

## 2. Marco Teórico

### 2.1 La Radio en México

#### 2.1.1 Historia de la Radio en México

Definido como el medio masivo por excelencia (alcanza al 98 por ciento de la población del país, esta cobertura no la tiene ningún otro medio de difusión) la radio mexicana tiene ya una historia de más de 70 años. Siete décadas en las que el impulso experimentador de los pioneros se transformó en interés empresarial por parte de la generación de radiodifusores que convirtió a esta actividad en industria a partir de los años treinta.

Siete décadas en las que el acto de sintonizar una frecuencia --en los años veinte una verdadera hazaña sólo conseguible por iniciados a través de pequeños receptores de galena-- se convirtió en sencillo acto cotidiano, casi natural, practicado por millones de personas que acompañan la jornada diaria con la música, las charlas o la información que la radio ofrece. No se tiene una fecha exacta sobre cuando tuvo sus inicios la radio en México, se dice que fue cuando estaba terminando el movimiento armado de 1910 en México; otros antecedentes más remotos manifiestan que fue en el norte del país en 1908 cuando se realizaban emisiones radiotelefónicas y otras informaciones manifiestan que Pancho Villa empleaba en la División del Norte la radio.

A diferencia de los primeros experimentos y transmisiones de televisión, los cuales se concentran en la capital de la República, el trabajo de los pioneros de la radio se lleva a cabo simultáneamente en diversos lugares de México, a veces con apoyo gubernamental o respondiendo a solicitud expresa de alguna dependencia del poder Ejecutivo, y en otras por la iniciativa de particulares interesados en investigar sobre lo que en el primer lustro de los años veinte se conoce como radiotelefonía o telefonía inalámbrica.

Tantos y tan dispersos son en esa época los experimentos y transmisiones radiofónicas que resulta difícil otorgar a alguien el título de "primer radiodifusor de México". No obstante, existe el registro de varios de los acontecimientos que contribuyeron a colocar las bases de una actividad que

habría de devenir, con el tiempo, en un imprescindible medio de comunicación para la sociedad.

#### *2.1.1.1 Los años 20's*

Al tiempo que gobernaba Francisco I. Madero, y luego el general Victoriano Huerta, algunos investigaban y hacían experimentos de radiofonía en la ciudad de México, entre ellos, se encontraba el Ingeniero Modesto Roland y el doctor Adolfo Gómez Fernández. El Ingeniero Constantino de Tárnava terminaba sus estudios de ingeniería en la Universidad de Notre Dame y regresaba a su natal Monterrey, donde a partir de 1919 empieza a transmitir con una pequeña emisora de 50 watts, con las siglas T-ND cuyo significado era Tárnava-Notre Dame. El 9 de Octubre de 1921 emitía su primer programa ya con características de radiodifusión.

Al término del mandato de Adolfo Huerta, en junio de 1920, la British Marconi solicitó al gobierno mexicano la autorización para abrir una emisora de consumo popular, a lo que México respondió que "sólo concierne al gobierno de la República el control de dichos servicios". 1921 fue el arranque de la radiodifusión en México, el 19 de marzo de 1923 empieza a funcionar una emisora en la ciudad de México con un equipo de transmisión construido totalmente en el país y con recursos de la iniciativa privada. La emisora fue adquirida por la Secretaria de Guerra y difundió música clásica, principalmente.

La emisora CYL fue creada por iniciativa de Raúl Azcárraga, hombre de negocios que se había dedicado a la venta y reparación de automóviles y propietario de La casa del radio; Azcárraga, convenció a los propietarios del periódico El Universal y establecen El Universal ilustrado-La casa del radio. El día de su primera emisión fue leído el poema de la radiofonía, de Manuel Maple Arce creado especialmente para esa ocasión.

La CYL, cambió sus siglas a XEB, en 1929, por razón del acuerdo internacional celebrado en Washington ante la Conferencia Internacional de Telecomunicaciones, órgano regulador de las siglas en todos los países del mundo. En esta reunión internacional, le fueron asignadas a México la XE y la XH, como indicativos o iniciales de distintivo de llamada para las emisoras de radio. La B grande de México, llega a ser una emisora de gran prestigio nacional.

#### *2.1.1.2 Los años 30's, símbolo de auge y prosperidad*

El año de 1930 representó para la historia de la radio y de la comunicación en México, un año de verdadero auge y prosperidad; el 8 de septiembre se inaugura la XEW, con el lema "La Voz de la América Latina desde México", dando inicio a sus transmisiones el 19 de septiembre. Surgieron grandes figuras como Pedro Vargas, Agustín Lara, Toña la Negra, Emilio Tuero, Gabilondo Soler "Cri-Cri", Pedro Infante, Jorge Negrete, Arturo de Córdoba, entre otros más.

En el terreno de la publicidad, Azcárraga imprime un sello muy particular a la W, cuida mucho del lenguaje; pero también cuida el valor de las canciones, a tiempo

que fomenta la época de oro del bolero romántico mexicano que refiere al México apacible y soñador de entonces.

En 1937 el general Lázaro Cárdenas crea "la Hora Nacional", que inicia transmisiones el 25 de enero, con el propósito de informar al pueblo; este programa continua hasta estos momentos como el programa líder en cuanto a información cultural en la onda radial.

### *2.1.1.3 Evolución Radiofónica*

En 1942, José Iturbe funda en la ciudad de México la XEOV, Radio mil, que compitiera durante muchos años con las estaciones de Emilio Azcárraga. Ese mismo año fue vendida y convertida en un periódico hablado con 18 horas de programación noticiosa, pero no tuvo mucho éxito porque se adelantó a su tiempo y, en cambio, surge más tarde la Organización Radio Mil, que va a constituirse en una de las principales cadenas de radio en México, tanto en AM como en FM. Probablemente la última de las radiodifusoras del Distrito Federal que tuvo un importante desarrollo en tiempos del arranque de la radio en México fue la XEX, la voz de México, creada gracias al ímpetu y tenacidad de una de las figuras principales de la radio mexicana: Alonso Sordo Noriega. En 1947, este virtuoso locutor llevó a la realidad, junto con un gran equipo humano, la construcción de la radiodifusora más grande del mundo.

Los años de 1949 y 1958 son claves para el desarrollo de la radio en México; en el primer año se constituye la Cámara Nacional de la Industria de la Radiodifusión, y en 1958 entra en vigor la Ley Federal de Radio y Televisión; para esta época la radio se ha transformado, desaparecen los programas con música en vivo y los sustituyen las grabaciones, se utiliza más la inversión publicitaria y es a partir de ese momento que además de todos los impuestos que ya se pagaban, se incluye un nuevo impuesto, el 12.5% de la transmisión de todas las emisoras comerciales.

Como parte de la evolución de este medio de comunicación, en 1970 se inicia una etapa distinta de la radio con el inicio de la radio de Formato Hablado; se funda la XERED e inicia sus emisiones Monitor. José Gutiérrez Vivó toma el micrófono de la estación para convertirse con el paso de los años, en la estrella del programa. A partir de los años 80's, los avances tecnológicos, como los satélites Morelos I y II permiten realizar más y mejores transmisiones; esto crea una nueva etapa en la historia de la radio mexicana.

El primer grupo de radio de frecuencia modulada con más emisoras es Frecuencia Modulada Mexicana que cuenta con 25 años de experiencia en México. Mediante la fusión de Grupo Stereorey con FM Globo, e Imagen Comunicación en Radio, el grupo define a un abanico de estilos y auditorios en los mercados más importantes de México. Las estaciones que conforman el nuevo grupo Frecuencia Modulada Mexicana son Stereorey, FM Globo, Pulsar FM 90.5, Radioactivo 98.1/2, XELA 830 AM-radio y Rock radio 12.90 AM, la radio de Oro.

#### *2.1.1.4 Personalidades en la Radio*

Ing. Constantino de Tárnava. El ingeniero Constantino de Tárnava, es reconocido como el iniciador de la radio en México, ya que en 1919 instala en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, la primera estación experimental en nuestro país. En octubre de 1921 su proyecto radiofónico se consolida al inaugurar la emisora CYO, posteriormente identificada como XEH. El primer programa radiofónico se origina la noche del 27 de septiembre de 1921, en una cabina construida en la planta baja del desaparecido Teatro Ideal en la Ciudad de México. La estación, propiedad de los hermanos Adolfo y Pedro Gómez, así como de Francisco Barra Villela.

Muy importante para el desarrollo de la radio en nuestro país fue 1923. En ese año se inauguran, entre otras, las emisoras CYL denominada "El Universal Ilustrado, La Casa del Radio", propiedad de los señores Raúl Azcárraga y Félix F. Palavicini y la CYB -hoy conocida con las siglas XEB- de la compañía cigarrera El Buen Tono.

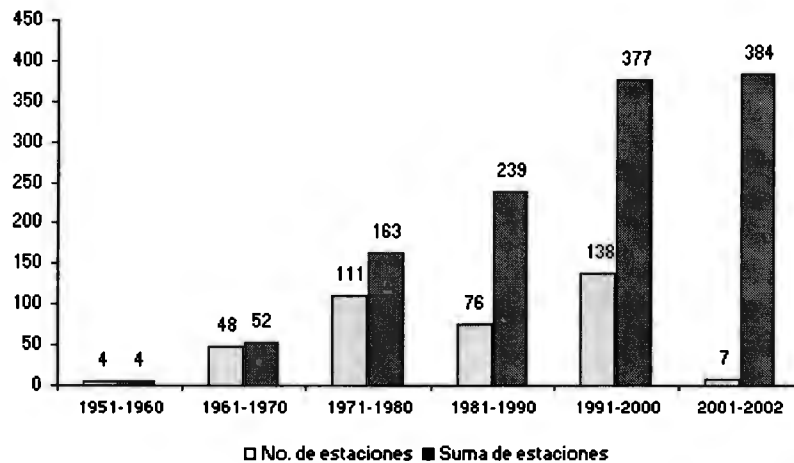
Sr. Emilio Azcarraga Vidaurreta. Desde el inicio de sus transmisiones, el 18 de septiembre de 1930, XEW, La Voz de la América Latina desde México, marca una nueva etapa en la industria, por su programación, alcance y potencia. Esta estación la fundó Don Emilio Azcárraga Vidaurreta e instaló el ingeniero José Ruiz de la Herrán Ipao, convirtiéndose en toda una tradición dentro de la radio del país al impulsar a la radiodifusión comercial a su consolidación durante las dos décadas siguientes.

Radio Programas de México surge como una nueva estructura radiofónica, al unirse el primer grupo de estaciones de radio con fines comerciales en 1941, fundado por los señores Emilio Azcárraga Vidaurreta y Clemente Serna Martínez. A fines de la década de los cuarenta, gracias a los avances tecnológicos en radiodifusión, en México comienza a experimentarse con la Frecuencia Modulada (F.M.).

En 1952, Don Federico Obregón Cruces instala la primera estación de este tipo, la XHFM-FM, misma que permanece hasta el año de 1957. Dos años antes, en 1955, el señor Guillermo Salas Peyró logra darle un real impulso a la FM al instalar, en la capital del país, la XEOY-FM, primera emisora en América Latina que transmite en sistema estereofónico.

#### **2.1.2 Datos estadísticos de la Radio en México**

Analizando la Gráfica 1, se puede observar con claridad que el número de estaciones nuevas en el espectro radiofónico ha dejado de crecer significativamente. Esto es una consecuencia de la falta de una técnica que permita incorporar más estaciones.



**Gráfica 1.** Crecimiento por décadas de estaciones concesionadas en Frecuencia Modulada (F.M.)

En la siguiente cuadro perteneciente a la CIRT se muestran el número de estaciones en AM y FM así como los canales de Televisión, coseccionadas y permisionadas en todos los estados de la República.

Es notoria la diferencia de número entre las estaciones de AM y FM. Una de las razones por las que se prefiere la transmisión en AM es el costo, dado que los equipos de modulación en frecuencia son más caros. Aumentando el número de estaciones, que pueden ser transmitidas en una sola frecuencia, por el factor X, los costos de cada estación se dividen entre el mismo factor X. Esto asegura una reducción de los costos de transmisión en frecuencia modulada, haciendo más viable este proyecto en provincia (donde le FM no es muy usado), y asegurándole al radio-escucha una señal de mejor calidad.

ENTIDAD FEDERATIVA	AM		FM		TV		SIST RES T.	SUM A CON C.	SUM A PER M.	TOTA L
	CON C.	PER M.	CON C.	PER M.	CON C.	PER M.				
AGUASCALIENTES	12	2	4	2	5	1	0	21	5	26
BAJA CALIFORNIA	31	2	29	5	23	4	0	83	11	94
BAJA CALIFORNIA SUR	10	2	9	0	18	1	0	37	3	40
CAMPECHE	9	5	2	0	10	1	0	21	6	27
COAHUILA	46	2	27	4	31	3	0	104	9	113
COLIMA	10	1	5	0	11	1	0	26	2	28
CHIAPAS	27	9	7	4	26	12	1	61	25	86
CHIHUAHUA	52	2	25	2	32	9	0	109	13	122
DISTRITO	31	2	22	5	8	1	3	64	8	72

FEDERAL										
DURANGO	9	1	2	1	12	0	0	23	2	25
GUANAJUATO	36	2	14	3	7	5	0	57	10	67
GUERRERO	24	6	11	1	20	2	0	55	9	64
HIDALGO	6	7	4	3	4	11	0	14	21	35
JALISCO	47	2	26	5	17	6	1	91	13	104
EDO. DE MEXICO	6	5	8	0	8	7	0	22	12	34
MICHOACAN	36	4	6	0	22	7	0	64	11	75
MORELOS	4	1	14	3	3	3	0	21	7	28
NAYARIT	14	2	2	0	8	1	0	24	3	27
NUEVO LEON	28	1	23	11	9	3	1	61	15	76
OAXACA	22	12	5	4	23	8	0	50	24	74
PUEBLA	21	1	14	2	6	2	1	42	5	47
QUERETARO	9	2	7	1	5	0	0	21	3	24
QUINTANA ROO	9	5	3	1	12	6	0	24	12	36
SAN POTOSI DE LUIS	19	2	8	1	16	5	0	43	8	51
SINALOA	35	2	10	2	16	0	0	61	4	65
SONORA	52	2	27	15	30	53	0	109	70	179
TABASCO	15	2	7	2	13	0	1	36	4	40
TAMAULIPAS	47	3	28	16	35	1	0	110	20	130
TLAXCALA	2	0	2	1	0	5	0	4	6	10
VERACRUZ	62	3	23	0	16	5	1	102	8	110
YUCATAN	15	2	6	6	9	3	0	30	11	41
ZACATECAS	12	0	4	1	13	3	0	29	4	33
TOTAL	758	94	384	101	468	169	9	1619	364	1983

Nota: No se consideran emisoras en proceso de instalación

Tabla 1. Cuadro de estaciones radiodifusoras y televisoras concesionadas y permisionadas por Entidad Federativa

La inversión privada hacia la radio es constante y creciente en México; la desventaja de algunos sectores contra las empresas más grandes es notoria económicamente. Dado que en ciudades grandes (el D.F.) el espectro de FM está saturado, el costo de anunciarse en la radio es mucho más alto que en provincia y empresas medianas y pequeñas no cuentan con las mismas oportunidades de anunciarse y crecer. Creemos que es importante apoyar a la pequeña y mediana industria nacional, así como a diversos sectores sociales cuyos recursos no son los suficientes para encontrarse al aire en horarios preferentes. Por lo que el

proyecto de expansión de estaciones asegura un crecimiento en la inversión privada en la radio y un espacio más amplio de expresión.

## México

### Inversión Publicitaria de la Iniciativa privada 1996-2001

	1996	1997	1998	1999	2000	2001 (e)
<b>Televisión</b>	75%	74%	75%	75%	74%	72%
<b>Radio</b>	9%	10%	10%	10%	10%	11%
<b>Prensa</b>	7%	7%	6%	6%	6%	7%
<b>Revista</b>	4%	4%	4%	4%	4%	5%
<b>Otros</b>	5%	5%	5%	4%	4%	4%
<b>Internet</b>	ND	ND	ND	1%	2%	1%
<b>(1) Inversión total en pesos (miles)</b>	9,587,968	12,943,757	15,273,633	17,870,151	22,158,987	23,500,000
<b>Incremento con respecto al año anterior</b>	34.0%	35.0%	18.0%	24.0%	16.0%	6.0%
<b>Inflación Anual</b>	26.44	15.7	18.7	12.32		
<b>Total Dólares (miles)</b>	1,263,237	1,634,313	1,533,497	1,879,091	2,300,000	
				2,685,000(3)	3,800,000(3)	2,800,000(3)
<b>Tipo de cambio promedio anual</b>	\$7.59	\$7.92	\$9.96	\$9.51		

(e) Valores estimados

N.D. No Determinado



- (1) Fuente: Comité de Medios AMAP
- (2) Estimado por confirmar
- (3) Estimado incluyendo publicidad gubernamental

**Tabla 2.** Inversión Publicitaria de la Iniciativa privada 1996-2001

### **2.1.3 Especificaciones técnicas de la Radio en México**

Fragmento obtenido de la Norma Oficial Mexicana, NOM-01-SCT1-93. Especificaciones y Requerimientos para la Instalación y Operación de Estaciones de Radiodifusión Sonora Moduladas en Amplitud.

#### **DISPOSICIONES PARA LA EMISION**

##### **5.1 EN SISTEMAS MONOFONICOS**

###### **5.1.1 CLASE DE EMISION**

Modulación de amplitud, doble banda lateral con portadora completa; A3E. Las clases de emisión diferentes a la A3E, para acomodar sistemas estereofónicos, pueden utilizarse también a condición de que el nivel de potencia fuera de la anchura de banda necesaria no exceda el normalmente previsto en la emisión A3E y que la emisión pueda ser recibida por receptores que utilicen detectores de envolvente sin aumentar de manera apreciable el nivel de distorsión.

###### **5.1.2 ANCHURA DE BANDA DE LA EMISION**

Las estaciones deben utilizar una anchura de banda de emisión hasta 20 kHz, lo que permite obtener una anchura de banda de audiofrecuencia de 10 kHz, de conformidad con lo establecido en el apartado 5.1.16 relativo a la Anchura de Banda y Preénfasis de Audiofrecuencias.

NOTA: En razón de la aplicación del criterio de anchura de banda de la emisión de 20 kHz, las características de operación de los canales extremos de la banda, quedarán sujetas a la autorización de la S.C.T.

##### **5.2 EN SISTEMAS ESTEREOFONICOS**

Los sistemas de transmisión deben cumplir con los siguientes requisitos:

###### **5.2.1 COMPATIBILIDAD R.F.**

El sistema estereofónico M.A., debe ser compatible con el sistema actual monofónico, con respecto a las relaciones de protección contra interferencia y el plan de asignación de canales.

###### **5.2.2 ANCHURA DE BANDA OCUPADA**

Las emisiones provenientes de un sistema de radiodifusión estereofónico M.A., compuestos de una portadora y sus productos de modulación asociados, deben estar contenidos en frecuencias dentro de una gama de  $\pm 10$  kHz con respecto a la portadora.

*El ancho de banda máximo en la transmisión de señales en amplitud modulada es insuficiente para la expansión de estaciones en la misma frecuencia, por lo que es imposible adoptar la misma técnica en este tipo de modulación.*

Fragmento tomado de la Norma Oficial Mexicana NOM-02-SCT1-93. Especificaciones y Requerimientos para la Instalación y Operación de

Estaciones de Radiodifusión Sonora en la Banda de 88 a 108 MHz; con Portadora Principal Modulada en Frecuencia.

### 8.3 ANCHURA DE BANDA

La anchura de banda asignada a estaciones de radiodifusión sonora de M.F., debe ser de 200 kHz (100 kHz a cada lado de la portadora principal).

### 8.4.4 DISTORSION

Para cualquier frecuencia de modulación entre 50 y 15000 Hz e índices de modulación del 25, 50 y 100%, la salida del sistema no presentará una distorsión superior al 3.5% (valor eficaz) para frecuencias de 50 a 100Hz, una distorsión del 2.5% para frecuencias de 100 a 7500 Hz y del 3% para frecuencias de 7500 a 15000 Hz. Se recomienda que ninguna de las tres partes principales del sistema (transmisor, circuito estudio transmisor y equipo de audiofrecuencia) contribuya en más de la mitad de estos porcentajes.

En general, la distorsión introducida por el transmisor deberá ser inferior al 1%, con una modulación del 100% para frecuencias de 50 a 15000 Hz, la característica de audiofrecuencia estará comprendida entre  $\pm 1$  dB para frecuencias de 30 a 15000 Hz empleándose la curva normal de preacentuación de 75 microsegundos, y los niveles de ruido (M.F. y M.A.) deberán ser inferiores a los niveles mínimos admisibles; esta disposición no es aplicable a las estaciones de radiodifusión sonora de M.F., clase D.

Estas son las dos únicas características que limitan el diseño de nuestro modulador y demodulador de CDMA.

## 2.2. Tecnologías aplicables a la transmisión de radio

### 2.2.1 TDMA: Time Division Multiple Access

La tecnología de radio digital que usa el estándar de DECT es TDMA - Time Division Multiple Access. Pues el nombre sugiere, el principio de base de TDMA es crear los canales múltiples del discurso dentro del mismo portador de radio dividiéndolo en el dominio de tiempo. La tecnología de radio de TDMA es también la base de los principales estándares celulares digitales del mundo - el GSM (y DCS1800), DAMPS y PDC.

En el estándar de DECT, de 20MHz de espectro de radio se maneja como sigue. Hay 10 carriers o portadores (canales de radio), cada uno de 1.728MHz que cada portador se divide en 12 timeslots a dos caras (24 en total), para permitir 12 llamadas simultáneas. Solamente un solo transmisor-receptor es necesario para cada portador. Con 10 portadores, la capacidad es 120 canales de radio.

Una característica importante de esta tecnología de división de tiempo, es que un teléfono individual es solamente envía o de recibe para dos de los timeslots disponibles. Por el tiempo restante, puede hacer otras cosas. Por ejemplo puede

ser utilizada para llevar una señal de llamada en espera, y permite que el usuario cambie entre dos llamadas.

En negocio inalámbrico de un sistema de comunicación, el uso más importante de estos otros timeslots es vigilar el resto de frecuencias y de timeslots, para considerar si una señal mejor disponible. Si una señal mejor está disponible en otro canal (por ejemplo si el usuario se ha movido lejos desde la estación a original y hacia otro), el handover a la nueva estación baja puede ser alcanzado. Éste es el mecanismo básico que utiliza Roaming a través de las premisas cubiertas por un sistema de DECT.

Este control del handover por el teléfono más bien que por la red de radio representa una diferencia significativa entre el DECT estándar y los estándares celulares digitales principales, aunque todas comparten la misma tecnología de radio de TDMA.

Este handover del teléfono de DECT es imperceptible al utilizador - una consideración importante en un ambiente microcelular donde varios handovers pueden ser necesarios dentro de la duración de una llamada corta.

Otra ventaja de la transmisión discontinua es que el dren en la batería en el teléfono sin cuerda está reducido al mínimo, y el tiempo de uso práctico entre las cargas de la batería se maximiza. Los teléfonos sin cuerda de la Tercera-generación DECT utilizan típicamente 45 horas espera o nueve de las horas del talktime entre las recargas de la batería.

## 2.2.2 Internet

### 2.2.2.1 Demanda y calidad de transmisión.

La demanda, es la cantidad de usuarios que desean conectarse a su servidor para recibir algún contenido. En nuestro caso ese contenido es audio en tiempo real.

Es importante considerar si el ancho de banda que ofrece su proveedor de servicios de Internet (ISP) es capaz de aceptar esa demanda o en el caso inverso si el número de conexiones que se ofrece excede la capacidad disponible para ese ancho de banda.

Para saber cual es el número de conexiones que puede poner a disposición del público hay que realizar la siguiente operación:

$$\text{Máxima cantidad de usuarios} = \frac{\text{Máximo ancho de banda a utilizar}}{\text{Bitrate} * 1,1}$$

Por ejemplo, en Costa Rica, el servicio de *colocation* en Racsa permite una velocidad de conexión de 10 Mbps. Si usted deseara realizar la transmisión con calidad de CD, es decir con un bitrate de 128 kpbs, el cálculo nos llevaría a la posibilidad de ofrecer 71 conexiones. Sin embargo, hay que considerar otros factores, como lo son que este ancho de banda es utilizado por los otros clientes

del servicio de colocation, si la transmisión va a ser remota o local y si en este mismo servidor se ofrece algún otro servicio como lo puede ser el hospedaje del sitio de la estación. Un número prudente de conexiones con esta calidad, que se puede ofrecer (que es muy relativo), podría ser de aproximadamente 40.

En cuanto a la calidad debemos considerar el tipo de contenido a transmitir. Por ejemplo, para la transmisión de música deberíamos preocuparnos más de la calidad que en el caso de transmitir voz (como noticias o narraciones de eventos deportivos). La calidad también puede variar por la fuente de la transmisión, por ejemplo si es de un tuner AM, FM o directamente de un line-out en la cabina. Debemos preguntarnos también si vale la pena sacrificar calidad por cantidad. Poca gracia tendría para sus usuarios escuchar una transmisión con calidad de CD, pero entrecortada por un exceso en la demanda, tiene más sentido bajar la calidad para lograr una recepción más fluida o llegar a un mayor número de escuchas.

Velocidad de conexión	de	Máximo recomendado	Bitrate
14.4 modem	Kbps	10 Kbps	
28.8 modem	Kbps	20 Kbps	
56.0 modem	Kbps	34 Kbps	
64.0 Kbps ISDN		45 Kbps	
112 Kbps ISDN	dual	80 Kbps	
Corporate LAN		150 Kbps	
256K modem	DSL/cable	225 Kbps	
384K modem	DSL/cable	350 Kbps	
512K modem	DSL/cable	450 Kbps	

**Tabla 3.** Ejemplo de bitrate recomendados contra velocidades de conexión basado en el RealSystem G2 Production Guide.

Surge además la pregunta: ¿Qué velocidad de conexión tendrán la mayoría de los escuchas?. Si la mayoría de los usuarios se conectan por línea telefónica con un modem de 56 Kbps entonces no podrían escuchar una transmisión de calidad o bitrate muy elevado. Servicios como el RealSystem Server permiten transmitir a diferentes bitrates simultáneamente, con SHOUTcast se pueden habilitar varios

puertos para diferentes velocidades de conexión, pero requiere de diferentes transmisiones al servidor.

### 2.2.2.2 Fuente y tipo de transmisión

Además de considerar la demanda y calidad del servicio, debemos observar que otras limitantes técnicas y de presupuesto tenemos. Esto nos lleva a escoger la fuente y tipo de transmisión a utilizar.

La fuente puede ser de tres tipos y se pueden combinar con otros tipos de fuente:

1. Análoga indirecta: Utilizar un receptor de radio y conectarlo al servidor.
2. Análoga directa: Utilizar una salida de audio en la cabina y conectarla al servidor.
3. Digital: Utilizar los recursos digitales de una computadora (CD, mp3s) o bien utilizar las salidas digitales del equipo en cabina y conectarlos al servidor.

La transmisión remota (fig. 1) consiste en enviar desde una computadora la señal a transmitir hacia el servidor. Por ejemplo, una emisora que transmite en AM únicamente y que quiere realizar una transmisión con una calidad de sonido superior a la que permitiría un receptor AM, puede analizar la opción de transmitir directamente desde una salida de audio en la cabina de la estación. ¿Pero se puede pagar un servicio de conexión dedicado de alta calidad y tener el server en la estación?. Si la respuesta es negativa existe la opción de realizar la transmisión de manera remota. Se puede utilizar una conexión de cable modem en la estación y enviar la señal a un servidor que se encuentre en colocation, es decir, a donde se conectan los usuarios.

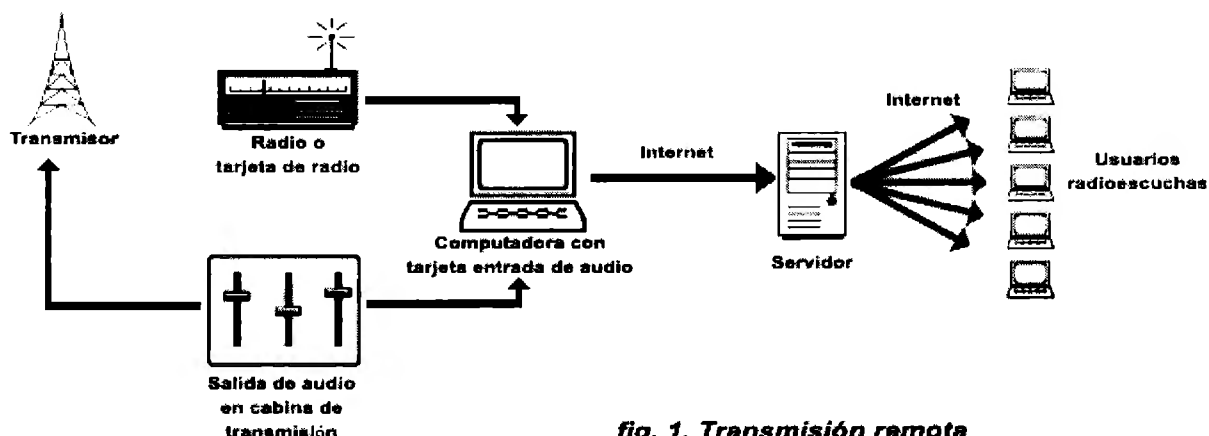


fig. 1. Transmisión remota

La transmisión local (fig. 2) consiste simplemente en utilizar el servidor para transmitir la señal a los usuarios y además para recibir la fuente de audio sin la mediación de otras conexiones y computadoras. Por ejemplo, si una señal FM tiene una buena recepción en el lugar del *colocation*, se puede utilizar una tarjeta de radio en el servidor y transmitir la señal directamente a los usuarios.

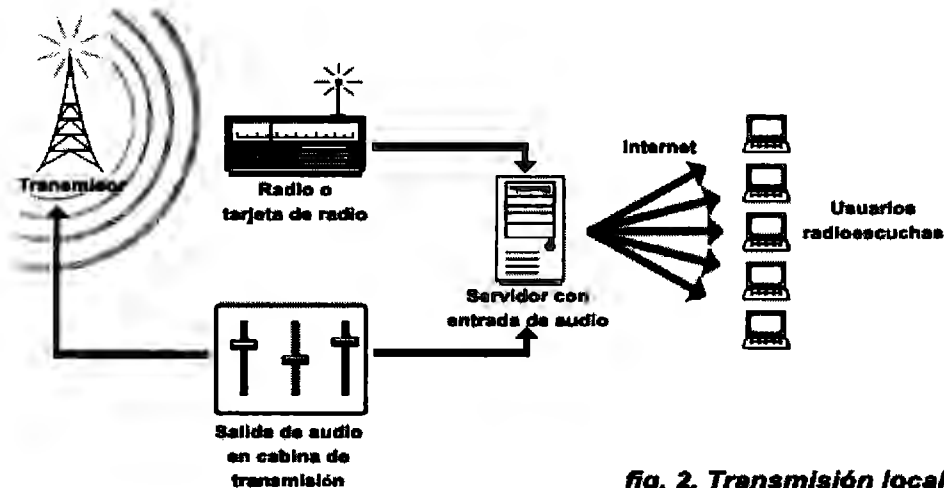


fig. 2. Transmisión local

### 2.2.2.3 Sistemas de transmisión de audio en tiempo real

Existen varias aplicaciones para reproducir audio en tiempo real a través de Internet que son populares y estándar entre los usuarios. Recalcamos aquí los más importantes a nuestro juicio: Windows Media Player de Microsoft, RealOne de RealNetworks y WinAmp de Nullsoft (MacAmp y XMMS, en el caso de Mac y Linux respectivamente).

Para llegar a los escuchas que utilizan estas aplicaciones se utilizan 3 diferentes sistemas de transmisión: Media Encoder, RealSystem Server y SHOUTcast.

Para saber que sistema de transmisión utilizar debemos aclarar varios puntos:

- Estándar: Que tan popular es el uso del reproductor o que tan difícil es para el usuario obtenerlo.
- Presupuesto: Tanto el de la estación como el de los usuarios.
- Número de conexiones: Límite de usuarios que permite el sistema de transmisión y el ancho de banda.
- Velocidad de recepción de los usuarios: La máxima velocidad de la que disponen la mayoría de los usuarios.
- Tipo de transmisión: Si requiere que sea local o remota.
- Retraso en la transmisión con respecto al tiempo real (delay): Depende de sus necesidades. Por ejemplo, si requiere transmitir eventos deportivos de alta demanda lo recomendable sería obtener el retraso mínimo.

## 2.3 Tipos de conversión Analógico-Digital

### 2.3.1 PCM

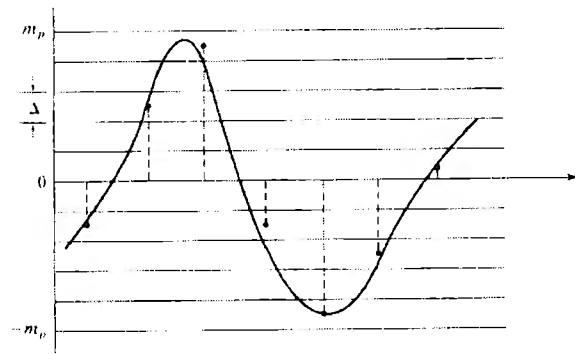
Se basa como en el teorema de muestreo: "Si una señal  $f(t)$  se muestrea a intervalos regulares de tiempo con una frecuencia mayor que el doble de la frecuencia significativa más alta de la señal, entonces las muestras así obtenidas contienen toda la información de la señal original. La función  $f(t)$  se puede

reconstruir a partir de estas muestras mediante la utilización de un filtro pasabajas". Es decir, se debe muestrear la señal original con el doble de frecuencia que ella, y con los valores obtenidos, normalizándolos a un número de bits dado (por ejemplo, con 8 bits habría que distinguir entre 256 posibles valores de amplitud de la señal original a cuantificar) se ha podido codificar dicha señal.

En el receptor, este proceso se invierte, pero por supuesto se ha perdido algo de información al codificar, por lo que la señal obtenida no es exactamente igual que la original (se le ha introducido ruido de cuantización). Hay técnicas no lineales en las que es posible reducir el ruido de cuantización muestreando a intervalos no siempre iguales.

La modulación por codificación de pulsos cuantifica una señal analógica muestreada en niveles discretos y también asigna un código para designar cada nivel discreto en cada tiempo de muestreo. Los procesos esenciales de la modulación por codificación de pulsos son el muestreo, cuantificación y codificación. En el primer proceso, se toman muestras de una señal continua en el tiempo midiendo su amplitud en instantes discretos. En la obtención de dichas muestras, es importante tomar en cuenta las restricciones impuestas por el teorema del muestreo. Un método práctico de obtener las muestras es el circuito de muestreo y retención. (Las últimas dos proposiciones: el teorema del muestreo y el circuito de muestreo y retención se desarrollaron extensivamente en el prerreporte 7).

La cuantificación consiste en representar los valores muestreados de la amplitud por un conjunto de niveles finito. Por ejemplo, si se quiere cuantificar una señal usando ocho niveles discretos, debe decidirse en cada caso cuál de esos niveles discretos es la mejor aproximación a la señal. Generalmente, se elige el valor más cercano y se mantiene este valor hasta que se toma la siguiente muestra. Este proceso de cuantificación introduce algunas diferencias respecto al valor real de la función, esta diferencia se asume como ruido. Debe notarse si se aumenta el número de niveles para cuantificar la señal, el ruido de cuantización se reducirá. Existen dos tipos de cuantificación: lineal y no lineal. En general, un ejemplo de cuantificación lineal se muestra en la siguiente figura:



**Figura 3.** Cuantificación lineal.

Se asume que la amplitud de  $m(t)$  está en el rango de  $(-m_p, m_p)$ . Este rango está dividido en  $L$  zonas de paso  $\Delta$ , dado por:

$$\Delta = \frac{2m_p}{\lambda}$$

La amplitud de una muestra se aproxima por el punto medio del intervalo en el que se encuentra. Las características de entrada y salida de un cuantificador uniforme se muestran en la siguiente gráfica.

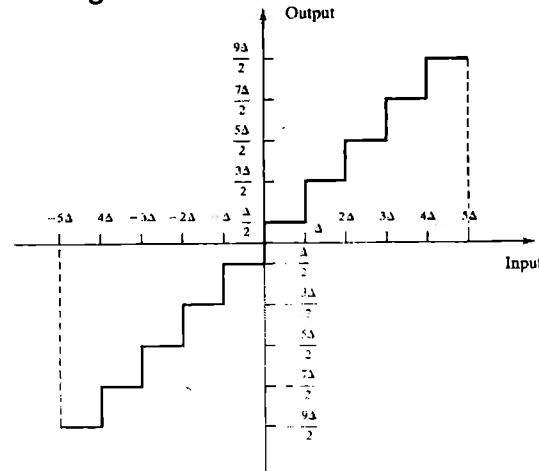


Figura 4. Cuantificador uniforme

En muchos casos, la cuantificación no uniforme no es eficiente. Por ejemplo, para señales de voz se sabe que las amplitudes más pequeñas predominan en la voz y que las amplitudes altas no son comunes. La cuantificación uniforme no es adecuada porque muchos niveles no se utilizarían comúnmente.

Por último, la codificación designa a cada nivel cuantificado un código. Para esto, se asigna un dígito a cada nivel de forma que cada nivel tenga correspondencia uno a uno con el conjunto de los enteros reales. Por lo tanto, el proceso de codificación reduce la forma de onda a un conjunto de enteros en cada tiempo de muestreo. Los dígitos se expresan generalmente en un código binario. De esta forma, en lugar de transmitir las muestras individuales en los tiempos de muestreo, se envía un código o patrón para representar la información cuantificada. Cada pulso puede representar un de dos posibles estados: un 1 o un 0. Esta unidad básica se conoce como bit. Una representación gráfica del proceso y de los códigos empleados se muestra a continuación.



Digit	Binary code	A binary pulse code
0	000	
1	001	
2	010	
3	011	
4	100	
5	101	
6	110	
7	111	

Figura 5. Codificación

Supóngase que en un sistema binario PCM se utilizan  $L$  niveles de cuantificación, entonces

$$L = 2^n$$

o

$$n = \log_2 L$$

en donde  $n$  es un entero. Para este caso,  $n$  pulsos binarios deben ser transmitidos por cada muestra del mensaje. Si el ancho de banda del mensaje es  $f_m$  y la frecuencia de muestreo es  $f_s$ , entonces  $nf_s$  pulsos binarios deben transmitirse por segundo.

Si se asume que la señal PCM es pasa bajas de ancho de banda  $f_{PCM}$ , la frecuencia de muestreo mínima es  $2f_{PCM}$ . Entonces

$$2f_{PCM} = nf_s$$

o

$$f_{PCM} = \frac{n}{2} f_s \geq nf_m$$

La ecuación anterior muestra que el mínimo ancho de banda requerido para PCM es proporcional al ancho de banda del mensaje y el número de bits por símbolo. Debe notarse que el ancho de banda requerido para un sistema PCM depende de su representación.

### 2.3.2 DPCM

Modulación Diferencial de Codificación de Pulso (DPCM). Durante el proceso de PCM, las diferencias entre las señales de muestra de entrada son mínimas. PCM diferencial (DPCM) se diseñó para calcular esta diferencia y entonces transmitir esta señal pequeña de la diferencia en vez de la señal entera de la muestra de la entrada. Usando DPCM se puede reducir la tasa de bits de la transmisión de la voz por debajo de 48 Kbps.

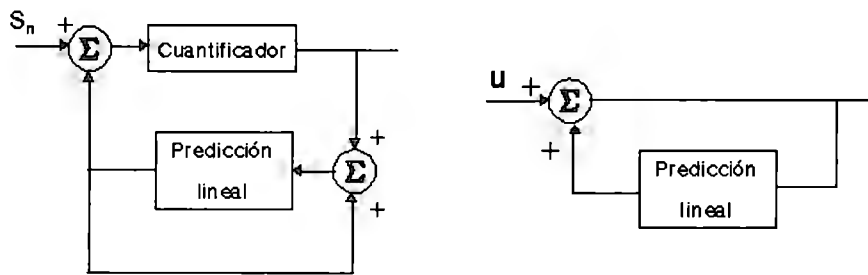


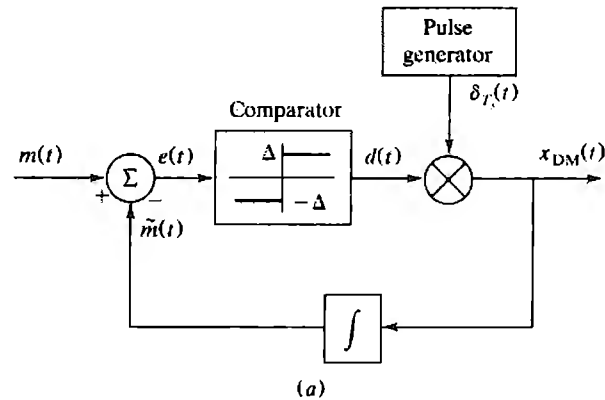
Figura 6. Diagrama de bloques DPCM.

### 2.3.3 ADPCM

Los formatos de audio comprimidos ADPCM son utilizados extensamente por el correo vocal y los contestadores automáticos, así como por el cd-rom multi-media. Los tipos de errores que ADPCM genera crean ruido audible en los transeúntes y rápidamente cambian de dinámica, por ejemplo, discursos o los ataques instrumentales, y sobre todo en de alta frecuencia. En 22kHz y muestreo de frecuencias más bajas, los artefactos audibles son más fuertes. Las ondas han creado una versión mejorada de los codificadores estándares para MS-ADPCM e IMA-ADPCM con, los ficheros de esa compresión que se pueden jugar en los decodificadores estándares reales pero suenan mejor, es decir menos ruido del cuantización, y menos aliasing de alta frecuencia. Esto es sobre todo excepcional para las frecuencias bajas de la muestra tales como 22Khz o 11kHz. El sonido obtenido parece ser menos molesto por un período largo de tiempo. Los métodos que son utilizados por las ondas: Los compatibles del codificador de IMA-ADPCM y de MS-ADPCM. Su normatividad es la G.726

### 2.3.5 Modulación Delta

Un diagrama de bloques de un sistema de modulación delta consiste en un comparador/modulador cuya entrada es la diferencia entre la salida acumulada y la señal de entrada  $m(t)$ . El modulador se dispara por pulsos de reloj. Si la amplitud de la señal de entrada es mayor que la salida acumulada, se obtiene a la salida un pulso positivo. Si es menor que la señal de retroalimentación, un pulso negativo se genera. La salida del acumulador en el transmisor es una aproximación a pasos a la señal continua de entrada  $m(t)$ . De esta forma, un acumulador en el receptor y una etapa de filtro pasabajas producirá una señal aproximada a la señal modulada  $m(t)$ .



(a)  
Figura 7. Sistema DM simple

La entrada al comparador es:

$$e(t) = m(t) - \hat{m}(t)$$

en donde  $m(t)$  es la señal de entrada y  $\hat{m}(t)$  es la señal de referencia. La salida del comparador es:

$$d(t) = \Delta \operatorname{sgn}[e(t)] = \begin{cases} \Delta & e(t) > 0 \\ -\Delta & e(t) < 0 \end{cases}$$

La salida del modulador delta es

$$\begin{aligned} x_{DM}(t) &= \Delta \operatorname{sgn}[e(t)] \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_s) \\ &= \Delta \sum_{n=-\infty}^{\infty} \operatorname{sgn}[e(t)] \delta(t - nT_s). \end{aligned}$$

Se observa que la salida del modulador delta consiste en una serie de impulsos, cada uno con una polaridad positiva o negativa dependiendo del signo de  $e(t)$  en los instantes de muestreo.

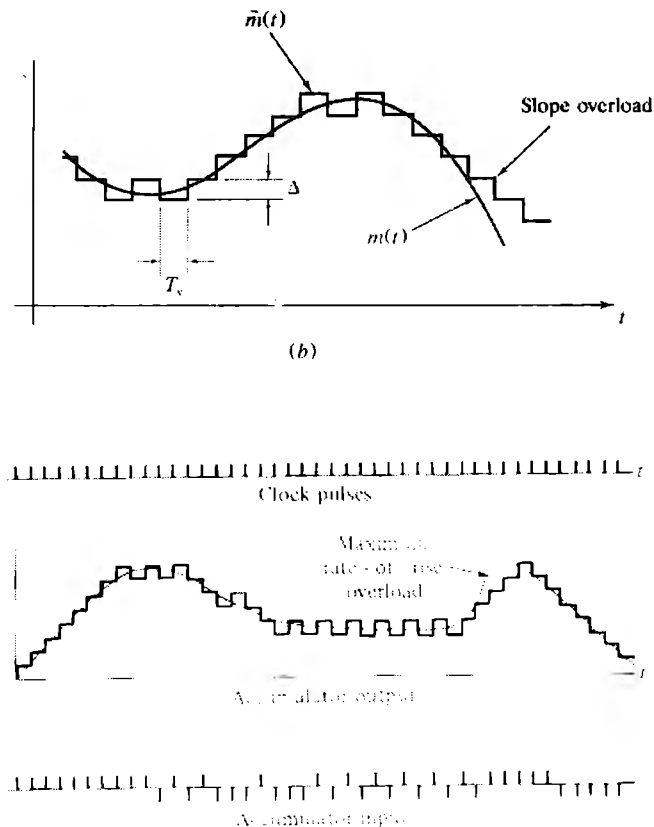
La demodulación de la señal se logra integrando  $x_{DM}(t)$  para formar una aproximación en escalera y luego pasar a través de un filtro pasabajos para eliminar los saltos discretos en la señal recuperada.

$$\hat{m}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Delta \operatorname{sgn}[e(nT_s)]$$

Un tamaño de paso pequeño es recomendable para reproducir la forma de onda a la entrada con precisión. De cualquier modo, un tamaño de paso pequeño debe ser acompañado de una frecuencia alta de muestreo para evitar el *slope overload* que se explicará más adelante. Una regla para evitarlo es

$$\frac{\Delta}{T_s} > \left| \frac{dm(t)}{dt} \right|_{\max}$$

La modulación delta tiene problemas cuando la entrada cambia muy rápidamente y la señal a pasos no es capaz de seguirla. Después de un tiempo, el acumulador retoma la señal y el error no se propaga. Asimismo, cuando la señal de entrada al modulador se mantiene constante, la forma de onda reconstruida muestra un comportamiento conocido como idling noise. El idling noise de la mitad de la frecuencia de reloj. Si dicha frecuencia es mucho mayor que la frecuencia más alta en la señal de entrada la mayor parte de este ruido puede ser filtrada a la salida del receptor.



**Figura 8.** Modulación Delta

Un estimado del límite de la razón de elevación o slope overload se obtiene a continuación para el caso de modulación senoidal. Si la entrada es

$$f(t) = b \cos \omega_m t$$

y su cambio máximo es

$$\left| \frac{df}{dt} \right|_{\max} = b 2\pi f_m$$

Si el tamaño de paso utilizado es  $a$ , la razón máxima de crecimiento que se puede obtener es

$$\frac{a}{T} = af_s$$

por lo tanto

$$af_s \geq b2\pi f_s$$

$$f_s \geq \frac{2\pi f_m}{a/b}$$

Si el peso espectral es uniforme, la ecuación anterior puede aplicarse a señales de banda limitada permitiendo que  $f_m$  sea la máxima frecuencia. Cuando el peso espectral no es uniforme y decrece a mayores frecuencias, la ecuación anterior puede ser usada reemplazando  $f_m$  con una frecuencia equivalente  $f_0$ . Para señales de voz 800 Hz es una frecuencia adecuada.

## 2.4 Teoría de CDMA

### 2.4.1 CDMA

"Acceso Múltiple por División de Código. " -En los sistemas CDMA todos los usuarios transmiten en el mismo ancho de banda simultáneamente, a los sistemas que utilizan este concepto se les denomina "sistemas de espectro disperso". En esta técnica de transmisión, el espectro de frecuencias de una señal de datos es esparcido usando un código no relacionado con dicha señal. Como resultado el ancho de banda es mucho mayor. En vez de utilizar las ranuras de tiempo o frecuencias, como lo hacen las tecnologías tradicionales, usa códigos matemáticos para transmitir y distinguir entre conversaciones inalámbricas múltiples. Los códigos usados para el esparcimiento tienen valores pequeños de correlación y son únicos para cada usuario. Esta es la razón por la que el receptor de un determinado transmisor, es capaz de seleccionar la señal deseada.

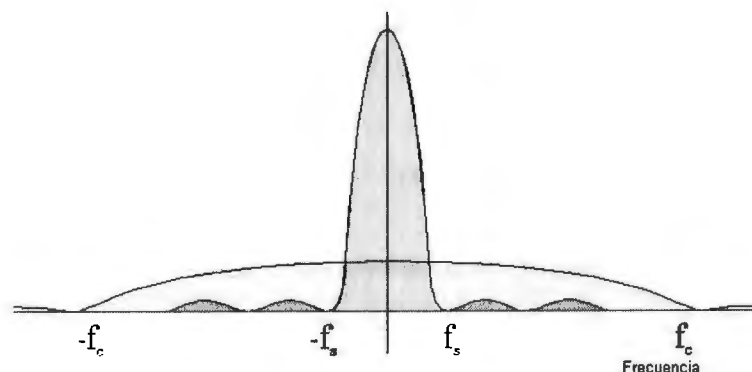
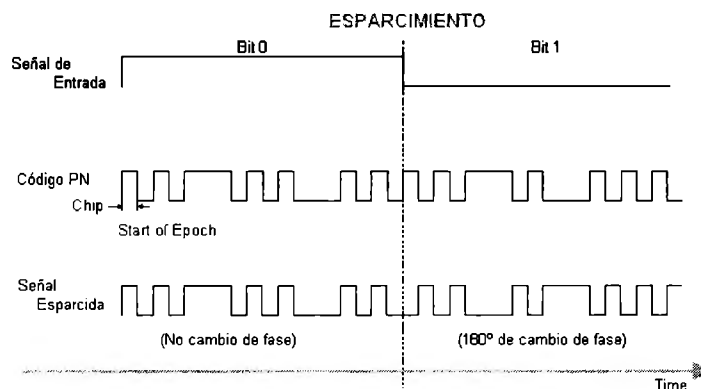


Figura 9. Expansión del espectro.

Uno de los problemas más importantes en el diseño de un sistema de comunicaciones inalámbricas consiste en proveer facilidades de comunicación a diferentes usuarios, de tal forma que el espectro de radiofrecuencias sea aprovechado de una forma óptima y a un costo razonable. Teniendo en cuenta que el espectro de frecuencias es un recurso limitado es necesario diseñar estrategias de acceso múltiple, de tal forma que se puedan asignar, dentro de las debidas restricciones económicas de un ancho de banda previamente asignado. Los códigos usados para el esparcimiento tienen valores pequeños de correlación y son únicos para cada usuario. Esta es la razón por la que el receptor que tiene conocimiento del código de un determinado transmisor, es capaz de seleccionar la señal deseada.



**Figura 10.** Expansión de los datos digitales.

CDMA de sistemas proveen operadores y suscriptores con ventajas importantes sobre TDMA analógico y convencional. Las ventajas principales de CDMA son como se indica a continuación:

- Resiste la interferencia intencional y no intencional, una cualidad muy importante cuando se transmite en áreas congestionadas.
- Tiene la habilidad de eliminar o atenuar el efecto de la propagación multicamino, la cual es un gran obstáculo en las comunicaciones urbanas.
- Puede compartir la misma banda de frecuencia (como un traslapamiento) con otros usuarios, debido a su similitud con una señal de ruido.
- Operación limitada de interferencia, en cualquier situación todo el ancho de banda es usado.
- Privacidad debido a los códigos aleatorios desconocidos, los códigos aplicados con - en principio - desconocidos para un usuario no deseado.
- Posibilidad de acceso aleatorio, los usuarios pueden iniciar su transmisión a cualquier instante de tiempo.
- Los sistemas basados en CDMA presentan una reducción de la potencia de transmisión incrementando la vida de las baterías y reduciendo el tamaño de los transmisores y receptores.

En los sistemas de comunicación con espectro disperso (Spread Spectrum), el ancho de banda de la señal es expandido, comúnmente a varios órdenes de magnitud antes de su transmisión. Cuando hay un sólo usuario en una banda SS,

el uso del ancho de banda es ineficiente. En cambio, en un ambiente multiusuario, los usuarios pueden compartir la misma banda SS y el sistema llega a ser eficiente mientras se mantengan las ventajas del espectro disperso.

#### *2.4.1.1 Esparcir el Espectro*

La diseminación el acceso múltiple de espectro transmite la señal entera sobre un ancho de banda que es muchas veces mayor del que se requirió para las transmisiones estándares de banda angosta a fin de mejorar la ganancia señal/ruido (S/N). En canales con narrowband, aumentando el ancho de banda transmitido de la señal resulta que la probabilidad de que la información recibida sea correcta aumenta, porque cada señal es una compilación de muchas señales menores a la frecuencia fundamental y sus armónicas, entonces el aumento de la frecuencia resulta en un reconstrucción más exacta de la señal original. La desventaja efectiva de narrowband en comunicaciones informáticas es la limitación de ancho de banda; así que las señales deben transmitirse con la potencia suficiente para que la interferencia por ruido gaussiano no sea efectiva y la probabilidad de que los datos recibidos no sean correctos permanecerá bajo. Esto significa que el SNR efectivo debe ser suficientemente alto para que el receptor pueda recuperar el código transmitido sin error.

La razón S/N puede disminuirse sin disminuir la tasa de error de bit. Esto significa que la señal puede esparcirse sobre un ancho de banda grande con los niveles menores de potencia fantasmal y todavía lograr la tasa informática requerida. Si la potencia total de señal se interpreta como la zona debajo la curva fantasmal de densidad, entonces señales con la potencia total equivalente pueden tener o una potencia grande de señal concentrada en un ancho de banda pequeño o una potencia pequeña de señal esparcida sobre un ancho de banda grande.

Una señal de espectro de diseminación CDMA es creada para modular la señal de radiofrecuencia con una sucesión esparcida (un código que consiste de una serie de impulsos binarios) conocido como un pseudo-ruido (PN), esta es una secuencia de números con un periodo determinado. El PN de código se ejecuta a una tasa más alta que la señal RF y determina el ancho de banda real de transmisión. Los mensajes pueden también ser cryptographically encoded a cualquier nivel de reserva deseado, con directos sequencing como que el enteros transmitted/received mensaje sea puramente numérico.

Una señal en Espectro Disperso en Secuencia Directa (SS/DS) es obtenida modulando el mensaje con una señal pseudo-aleatoria de banda ancha (Código de Pseudo Ruido). El producto nos da una señal de banda ancha. Un código de pseudo ruido es una secuencia con valores -1 y 1 (polar) ó 0 y 1 (no polar) y posee propiedades similares a las del ruido. Esto determina valores pequeños de correlación entre los códigos y la dificultad de bloqueo o detección de una señal de información por un usuario no deseado. SS llega a ser el sistema de ancho de banda eficiente en ambientes múltiples de usuario. Esta razón hace SS de comunicación una elección ideal para zonas metropolitanas con la tarifa grande de agrupamiento.



Figura 11. Células

La diseminación de energía sobre una banda amplia, o rebajar la densidad fantasmal de potencia, hace de SS señales menos probables para inmiscuir con comunicaciones de banda angosta, porque la potencia esparcida de la señal está cerca de los niveles gaussianos de ruido. Las comunicaciones de banda angosta, ocasionan poca o ninguna interferencia en sistemas SS porque el receptor de correlación integra sobre un ancho de banda muy amplio para recuperar una señal SS. La correlador entonces "esparce" fuera una banda estrecha interferir sobre el ancho de banda de detección total de receptor.

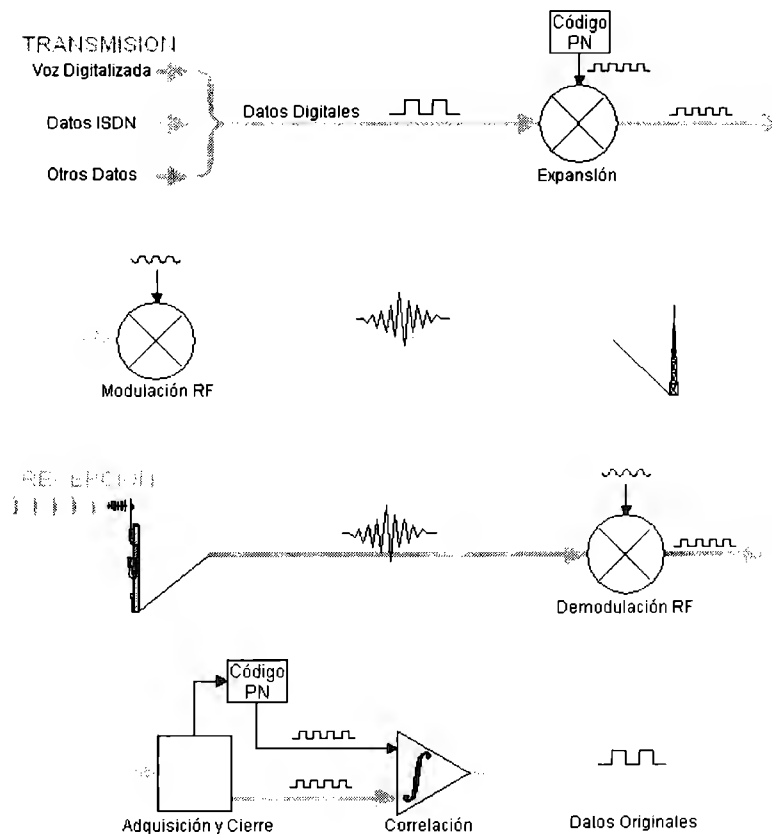


Figura 12. Proceso de transmisión y recepción con tecnología CDMA.



Para comprender por qué hay una demanda de CDMA, es necesario comprender la tecnología que existió con anterioridad a su introducción. Las comunicaciones de espectro de disseminación se han utilizado para codificar comunicaciones militares desde hace muchos años. Es difícil inmiscuirse o interceptar una señal CDMA a causa de su uso de una señal de disseminación. La gran atracción de la tecnología CDMA desde el comienzo era su capacidad inherente para impulsar la capacidad de comunicaciones y reusar frecuencias al grado unheard de en narrowband múltiple tecnología inalámbrica de acceso. Su aplicación civil de radio móvil se propuso teóricamente en los años 1940's, pero su aplicación práctica en el mercado no tuvo lugar hasta 40 años luego debido a los muchos obstáculos técnicos que todavía necesitaban ser superados. La viabilidad de tecnología CDMA era despedida por TDMA (el Tiempo Acceso Múltiple de División) defensores como una tecnología que trabajó la muy bien en la teoría pero nunca trabajo en práctica. El desarrollo rápido de CIs numéricos de alta densidad, sin embargo, combinado con la realización que regulando todas las facultades de transmisor a niveles bajos requeridos que un enlace logre la comunicación óptima de acceso múltiple, permitía que CDMA se materializara como una tecnología de trabajo. En 1991, los resultados prometedores de los primeros ensayos de zona demostraron que CDMA podría trabajar también en la práctica como lo hizo en la teoría. CDMA comercial se introdujo, probado, normalizado, e inicialmente desplegado en menos de siete años, un ciclo de maduración relativamente rápida comparado a otras tecnologías tal como TDMA. El primer servicio comercial CDMA se lanzó en Hong Kong en 1995, seguido por un lanzamiento en el Corea y Pensilvania. Ha llegado a ser rápidamente la elección primaria de portadores en el EE.UU. Ahora está entre los 11 de los 14 mejores portadores celulares, 10 de los 17 mejores portadores DE COMPUTADORAS PERSONALES, el segundo más grandes bloque DE LENGUAJE C DE COMPUTADORAS PERSONALES los licitadores y 60% de POP han seleccionado CDMA para su nueva red numérica.

## 3. Diseño

### 3.1 Análisis del número de canales.

Para la estimación del máximo número de canales posibles (estaciones de radio) se usó la ecuación empleada en telefonía celular de transmisión CDMA. La ecuación fue adaptada al caso de transmisión de señales moduladas en frecuencia en México.

A continuación se hace una descripción de todos los parámetros que intervienen en el cálculo así como la justificación del valor seleccionado.

$$C = \frac{\frac{W}{R}}{\frac{E_b}{I_0}(\beta + 1)\alpha} + 1$$

- a) C = Número de canales máximo en la transmisión
- b) W = Velocidad binaria de la transmisión
- c) R = Velocidad binaria de la señal de banda base
- d)  $E_b / I_0$  = Relación señal a ruido
- e)  $\beta$  = Distorsión ocasionada por otras células
- f)  $\alpha$  = Porcentaje de transmisión

*Porcentaje de transmisión:* Este número indica la relación entre transmisión y recepción, en la telefonía celular este número es .5, lo cual quiere decir que la mitad del tiempo se recibe y la otra mitad se transmite. Para el caso de la radio, la transmisión es continua por lo que debemos asumir que todo el tiempo se está transmitiendo, el valor usado en este parámetro fue 1.

*Distorsión ocasionada por otras células:* En la telefonía celular, las señales son enviadas al receptor destino a través de células, en una ciudad hay un número considerable de estas células y esto ocasiona una distorsión en la señal ya que todas ellas utilizan la misma banda de frecuencia. Para la radio esto es diferente, se puede considerar una célula única porque cada estación de radio tiene una frecuencia asignada, ninguna otra señal de radio es transmitida en la misma

---

portadora. El valor usado entonces es 0 ya que no existe la distorsión de otras células en la misma frecuencia.

*Relación señal a ruido:* El valor de este parámetro está dado en decibeles, para efecto de diseño se dispuso un valor de señal de 60% con relación 40% de distorsión en la señal. Esto es coherente y funcional porque las propiedades de la señal digital ofrecen más seguridad en la transmisión que la analógica y podemos contar con un rango más amplio de distorsión. Con estas consideraciones el valor de la relación  $E_b / I_o$  es 3.97 dB. La ecuación utilizada fue  $10\log_{10}( E_b / I_o ) = 3.97$  dB (potencia).

*Velocidad binaria de la señal de banda base:* Para una recuperación de calidad aceptable en la conversión analógica-digital, se utilizó un convertidor a 96 Kbps de 4 bits, por conversión ADPCM. Entonces el ancho de banda de la señal voz en FM es de 12 KHz, por consideraciones de Nyquist. El ancho de banda dispuesto permite al usuario de la radio escuchar una señal aceptable en su aparato de radio y su ancho de banda es mayor al de AM.

*Velocidad binaria de la transmisión:* El ancho de banda de la señal transmitida en modulación en frecuencia es de 200 kHz máximo. Con una señal de banda base de 12 kHz la longitud máxima del código es de 4 bits. Al expandir la señal, se multiplica el número de bits del código por cada bit de la señal de radio digital. La velocidad entonces es multiplicada también, dando un resultado de 384 kbps o 192kHz.

Se tomará una señal de prueba de 48kHz como mensaje binario, el período de esta señal es de 20.83 $\mu$ seg. Esta compuesta de un ciclo positivo y uno negativo, por lo que su velocidad binaria es de 96kbps porque tiene dos bits por periodo.

El resultado del cálculo nos da un número de canales igual a 2.007

El resultado indica que dos estaciones de radio, que manejen información con características de voz humana, pueden ser enviadas por la misma portadora. Este resultado es válido si las portadoras de las estaciones de radio están separadas por 800 kHz entre ellas.

### 3.2 Diseño de Código

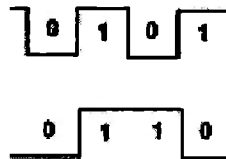
Para la expansión de la señal en banda base es necesaria la multiplicación de ésta por un código que la modulará para garantizar la seguridad de la transmisión y la posibilidad de compartir la portadora con otros canales.

Del resultado anterior observamos que es necesaria la creación de 2 códigos. Dichos códigos deben cumplir con la condición propiedad de la ortogonalidad entre códigos, con el fin de que en la etapa de recepción se pueda recuperar una

de las dos señales moduladas. Para obtener la señal en banda base es necesario correlacionar el código con la suma de las dos señales moduladas con sus respectivos códigos. Al correlacionar el código 1 con la suma de las señales moduladas recuperaremos la señal 1 y para la señal 2 se sigue el mismo proceso para su recuperación.

Dos códigos son ortogonales entre sí, cuando la suma del resultado de multiplicación es igual a 0. Las condiciones de este resultado es que los valores de los bits sean de 1 y -1, esto se logra con un código de línea bipolar.

Los dos códigos propuestos son:



Para comprobar la ortogonalidad entre ambos códigos tomamos los valores de 0 como -1.

-1 1 -1 1  
- 1 1 1- 1

Al multiplicar los códigos el resultado es:

11-1-1

Y al sumar estos valores el resultado es 0 y se cumple con la condición de ortogonalidad.

### 3.3 Diagrama a Bloques del Circuito

#### MODULADOR

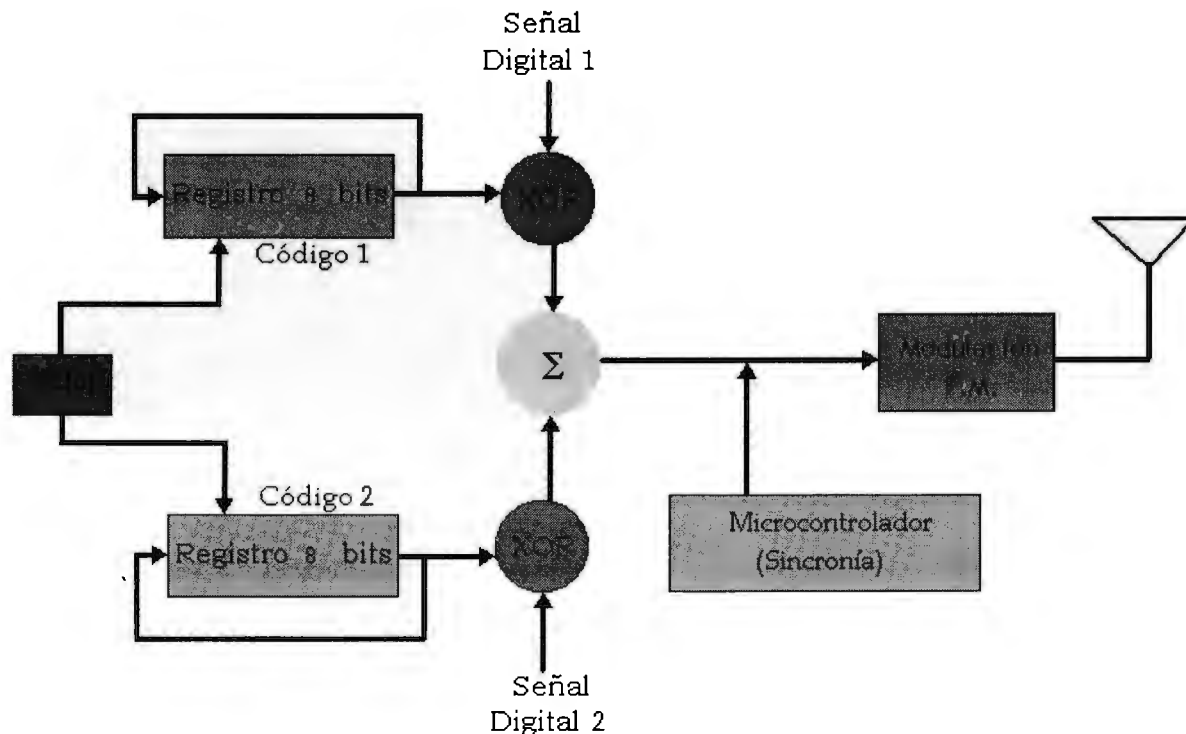


Figura 13. Modulador CDMA

Las señales de radio que han pasado por el proceso de digitalización y sus códigos se combinan en una compuerta X-OR. Esta es la etapa de expansión en frecuencia de las señales. Posteriormente se hace la modulación en frecuencia para su transmisión, esta etapa es la que se utiliza normalmente en las estaciones de radio. La frecuencia de la portadora no es modificada ni sus métodos de transmisión.

## DEMODULADOR

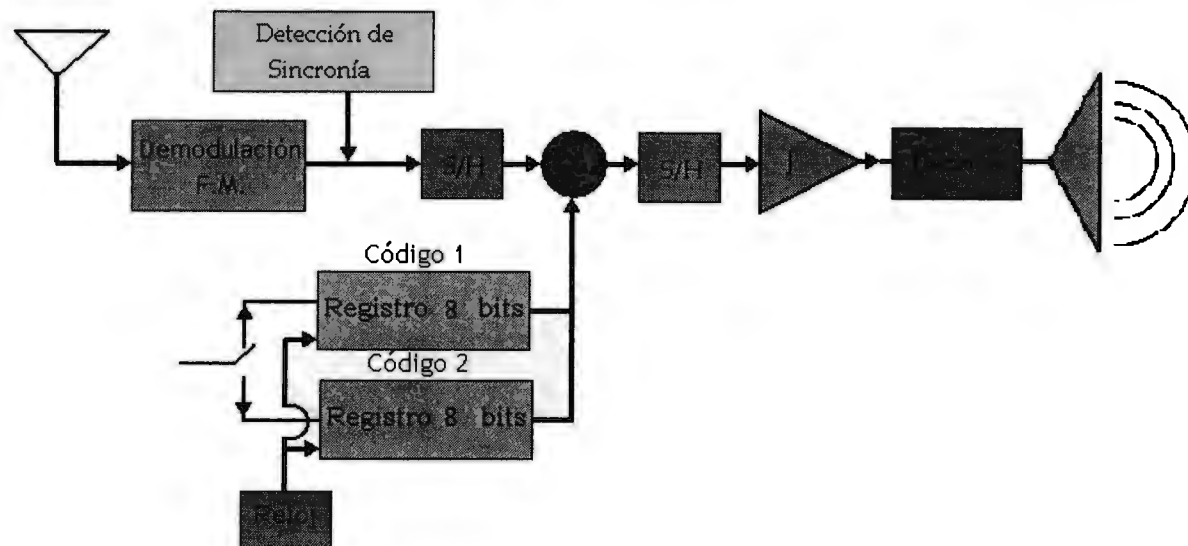


Figura 14. Demodulador CDMA

La recepción es realizada por un demodulador F.M. común. Se detecta la sincronía del sistema para asegurar la recuperación de las señales. Cuando se hace la suma de las señales en el modulador estas cambian de señales digitales a señales discretas, por lo que se necesita un Sampler-Holder (S/H) para sincronizar las señales. La señal muestreada se multiplica por el código de la señal (un bit de código por un bit de señal) que se desea recuperar. El resultado de esta multiplicación entra a otro S/H para obtener de nuevo una señal discreta sincronizada. Esta señal se introduce a un integrador que funciona con la frecuencia dividida entre el número de bits del código ( $384/4$  kbps, 48kHz). El integrador suma los valores que entran y da el resultado cuando 4 bits han sido sumados. El resultado entra a la etapa de decisión donde un circuito lógico decide si el bit resultante es 1 o 0. La señal original es recuperada a la salida del integrador como señal digital, para recuperar la señal de radio analógica, los datos digitales entran a un DAC para que el usuario pueda escuchar la transmisión como en cualquier transmisión analógica.

### 3.4 Conclusiones obtenidas de la investigación

El proyecto comenzó enfocado a maximizar las estaciones en los cuadrantes AM y FM. Después de estudiar las especificaciones de transmisión en el espectro radioeléctrico dadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte, el desarrollo de la investigación se limitó a FM.

La proyección de la investigación era de combinar un número mayor de canales en una misma transmisión. Después del análisis se concluyó que el número máximo era de 2 canales por portadora.

El ancho de banda de la señal en banda base es de 12 KHz, lo que garantiza al usuario de la radio una señal de audio de calidad confiable. Esta señal al ser digitalizada tiene un ancho de banda de 96 kbps y es modulada con un código de 4 bits. La longitud del código hace posible la expansión en frecuencia del espectro dando seguridad a la transmisión y recepción de la señal por las propiedades de la técnica CDMA.

El código de 4 bits es funcional en el MODEM ya que sólo se transmiten dos canales sin interferencia de otras células. En la telefonía celular se utilizan códigos de mayor extensión dado que se garantiza la seguridad de las llamadas y permiten también un gran número de usuarios.

La implementación real de esta investigación es posible pero tendrá que ser gradual, es decir, no todas las estaciones de radio podrán mudarse a este sistema al mismo tiempo. Ya que los aparatos receptores o radios convencionales existentes no cuentan con el demodulador necesario para decodificar la señal modulada. Como toda tecnología emergente los nuevos aparatos serán introducidos al mercado dependiendo de la aceptación de los usuarios.

El proyecto tiene un alcance real ya que la organización en tiempo es adecuada y hasta ahora se han seguido todos los puntos establecidos.

El éxito de esta técnica es altamente probable ya que el radioescucha podrá disponer del doble de alternativas en el espectro radioeléctrico, así como información de mayor calidad. La información de calidad se refiere a que habrá una gama más amplia de información y no sólo la manipulada por las radiodifusoras actuales. Esto se asume si una adecuada regulación es implementada por la COFETEL y se abre el espacio en las subastas a un mayor número de organizaciones. La intención de este proyecto es participar en la educación de la población, brindando espacios para la transmisión de programas culturales, científicos y educativos.

Como ingenieros tenemos la responsabilidad de retribuir a la sociedad en la que nos hemos desenvuelto con alternativas de mejora. Este no es un proyecto con fines de lucro, sino con sentido de responsabilidad social y de propuesta para el desarrollo de nuestro país.

# 4. Implementación

## 4.1 Modulador

### 4.1.1 Sincronización

El módem CDMA está sincronizado de principio a fin para asegurar la recuperación de la señal en banda base original. Varios circuitos de sincronización fueron probados pero no cumplían con las características necesarias, como frecuencia y estabilidad.

Circuitos probados:

Se pensó en un programmable timer CMOS (CD4541BC), pero la frecuencia que alcanzaba era mucho menor a los 384kHz necesarios para hacer correr el registro, aunque estaba especificado en las hojas del circuito que este rango de frecuencia estaba dentro de la región de operación.

También se probó un VCO que contaba con las características de frecuencia necesarias. Sin embargo, al hacerle diversas mediciones se comprobó que no era estable. Esto es, que la frecuencia variaba, subía o bajaba con el tiempo, ampliando y reduciendo el ancho de banda de transmisión haciendo imposible la transmisión de las señales codificadas en CDMA al modularse en frecuencia.

NE555. Otra opción adecuada para el circuito fue el timer 555, ya que proporciona una señal estable a 384kHz. Esta señal es suficiente para sincronizar todo el circuito y las pruebas realizadas fueron satisfactorias ya que tiene una desviación estándar de 300Hz. Aún con esta mínima irregularidad en la frecuencia, la transmisión en frecuencia se logra sin afectar el ancho de banda de otras estaciones.

El circuito utilizado fue el siguiente:



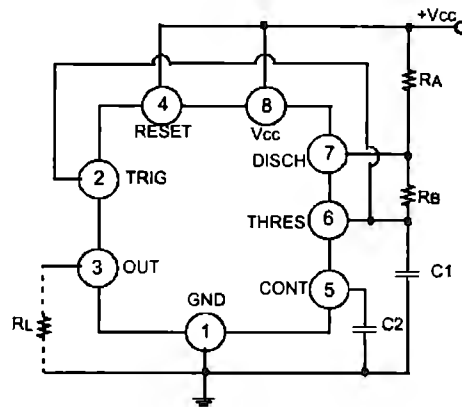


Figura 15. Diagrama de conexión del 555 monoestable.

$R_B$  es un potenciómetro vuelta múltiple de  $10k\Omega$ .  $C_1$  y  $C_2$  me generan el ciclo de trabajo. Para lograr un ciclo de trabajo del 50%  $C_1$  y  $C_2$  tienen una relación cuadrática.  $C_1 = 10nF$  y  $C_2 = 100nF$ .

Sin embargo, la señal obtenida del 555 genera mucho ruido y no es tan estable como se necesita. Tiene un error de  $0.5kHz$  y en Radio CDMA esto puede producir errores en la demodulación.

La mejor manera de realizar la sincronía de estos circuitos es por medio de cristales osciladores. Estos cristales generan frecuencias sumamente estables y no producen mucho ruido al generar una onda muy limpia. Sin embargo se requiere de un circuito específico para hacerlo oscilar. En teoría es necesario un circuito resonante RLC que esté a la misma frecuencia del cristal. Esto es algo muy difícil de realizar y conseguir los valores específicos de RLC.

El circuito utilizado se compone de una compuerta inversora con resistencias y capacitores específicos. Este circuito se muestra a continuación.

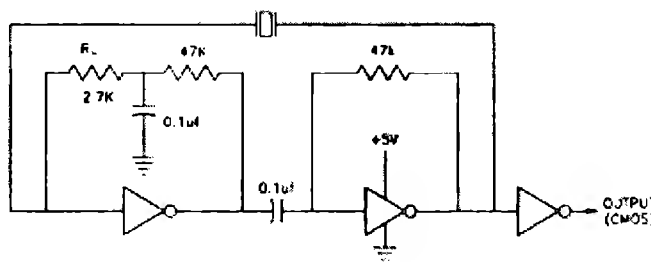


Figura 16. Circuito del Oscilador

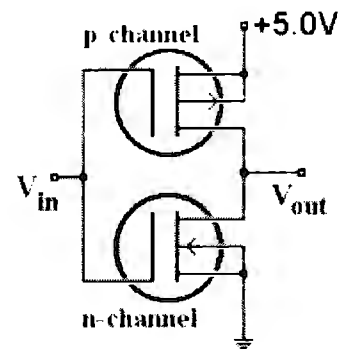


Figura 17. Compuerta de un inversor CMOS.

El cristal utilizado es de  $6.144MHz$ . Como se sabe, la compuerta NOT CMOS está compuesta por transistores JFET como se muestra en la Figura 11. Es por esto

que puede soportar frecuencias tan grandes como la utilizada. El circuito de conexiones de la compuerta CMOS es la siguiente.

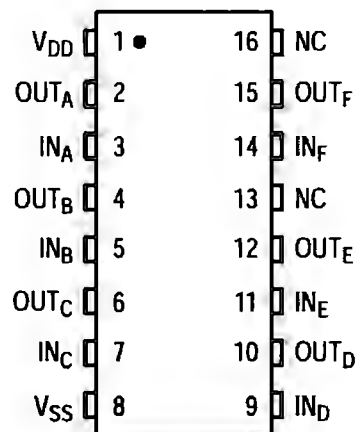


Figura 18. Diagrama de conexiones del MC14049

La frecuencia resultante se obtiene del pin2 y es una onda triangular. Esta frecuencia es la del cristal (6.144MHz) y para obtener la frecuencia deseada (384kHz) y la onda cuadrada debemos dividirla por medio de un contador binario, como en la etapa de división de frecuencia. Para obtener esta frecuencia debemos dividir la frecuencia del cristal entre 16, por tanto la señal deseada se obtiene del MSB de salida de un contador de 4 bits, 74LS163.

#### 4.1.2 Expansión en Frecuencia

##### 4.1.2.1 Registros

Los registros contienen dos periodos del código ortogonal que es multiplicado por el mensaje digital original para lograr una expansión frecuencial. El código antes mencionado es de 4 bits, y al no haber un CI con el mismo número de bits se utilizaron registros del doble de bits con características de entrada paralela/serial y salida serial.

El primer circuito probado fue un CMOS con número de serie CD4014BC del que no obtuvimos buenos resultados y resolvimos regresar a la tecnología TTL.

El integrado 74LS165 de características antes mencionadas proporciona una solución adecuada ya que su funcionamiento es óptimo al guardar el código y correrlo en forma serial a la frecuencia necesaria.

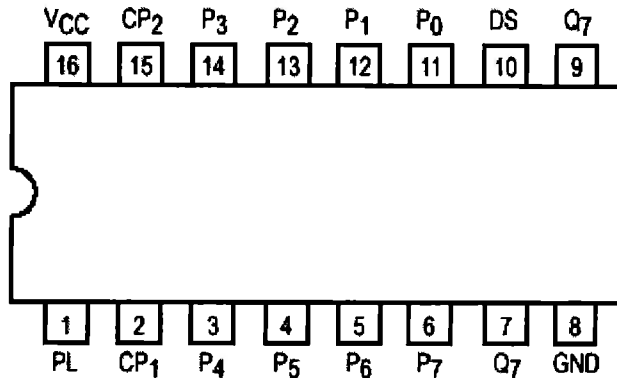


Figura 19. Diagrama de conexión del circuito 74LS165

- CP<sub>1</sub>, CP<sub>2</sub> Clock (LOW-to-HIGH Going Edge) Inputs
- DS Serial Data Input
- PL Asynchronous Parallel Load (Active LOW) Input
- P0 – P7 Parallel Data Inputs
- Q<sub>7</sub> Serial Output from Last State (Note b)
- Q<sub>7</sub> Complementary Output (Note b)

Las entradas paralelas del circuito están conectadas a tierra y Vcc simulando los códigos escogidos para la expansión. De acuerdo a la siguiente tabla se conectó CP<sub>1</sub> en bajo y CP<sub>2</sub> a la salida del contador que divide la frecuencia del cristal, con el fin de lograr un corrimiento a la derecha del código.

**TRUTH TABLE**

PL	CP		CONTENTS								RESPONSE
	1	2	Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>7</sub>	
L	X	X	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	Parallel Entry
H	L		DS	Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>6</sub>	Right Shift
H	H		Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>7</sub>	No Change
H		L	DS	Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>6</sub>	Right Shift
H		H	Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>7</sub>	No Change

H = HIGH Voltage Level  
 L = LOW Voltage Level  
 X = Immaterial

Tabla 4. Tabla de verdad del Registro 74LS165

La salida Q7 es una señal periódica de 4 bits con la cual se expande la señal de voz digitalizada.

**4.1.2.2 XOR**

Para expandir la señal en frecuencia es necesario multiplicarla por el código ortogonal. En esta etapa las dos señales al multiplicarse son binarias por lo que la multiplicación se hace a través de una compuerta OR- exclusiva. Las entradas de la XOR son una señal de ancho de banda de 12 kHz (96 kpbs) y otra de 384 kpbs.

A la salida de la compuerta se tiene un bit de la señal de menor ancho de banda multiplicado por 4 de la de mayor contenido frecuencial. De la señal original se obtuvo una señal de 384 kbps, esto es, 4 veces la velocidad de la original.

#### 4.1.3 Suma de canales

Para aprovechar las características de la tecnología CDMA y como se demostró en el capítulo anterior, podemos mandar 2 canales en una misma portadora. Para lograr esto se utilizó un OP-AMP en configuración sumador no-inversor obteniendo a la salida la adición de las dos señales expandidas. Se utilizó un TL082 puesto que respetaba el ancho de banda de las señales.

El diagrama de conexiones se muestra a continuación.

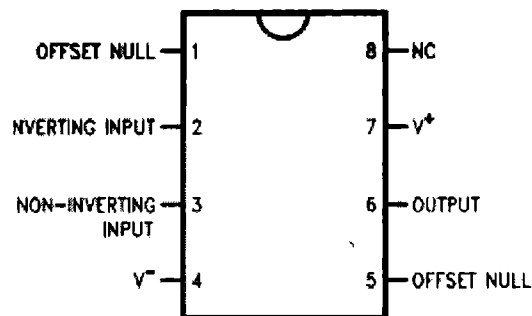


Figura 20. Diagrama de conexión del TL082

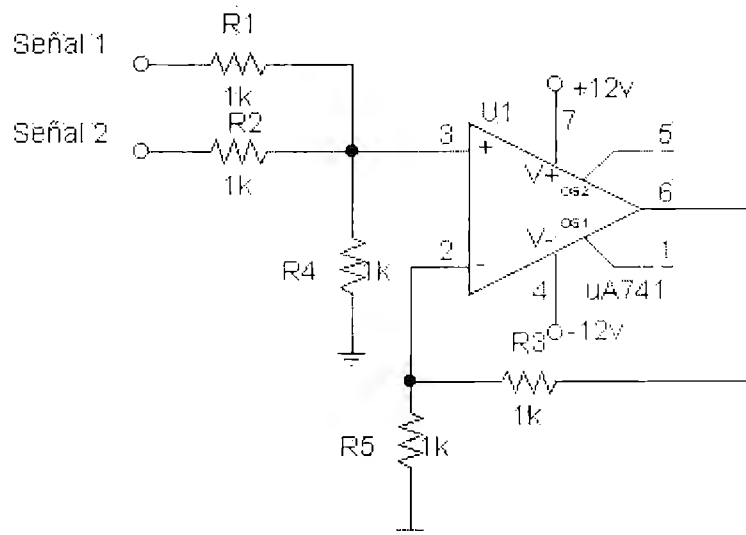


Figura 21. Circuito sumador no inversor.

Como podemos ver en la figura las dos señales se suman sin invertir su polaridad y, al ser todas las resistencias iguales de  $1\text{k}\Omega$ , la ganancia es unitaria.

## 4.2 Modulación y demodulación en frecuencia

Este circuito es el utilizado en el curso Laboratorio de Sistemas de Comunicación para realizar la práctica de FM y FSK. Dado que fue especificado que esto no es parte de nuestro módem ni de nuestro diseño, se implantó para hacer la prueba de transmisión en frecuencia modulada.

Para la modulación en frecuencia se utilizó el PLL LM565 conectado de la siguiente manera.

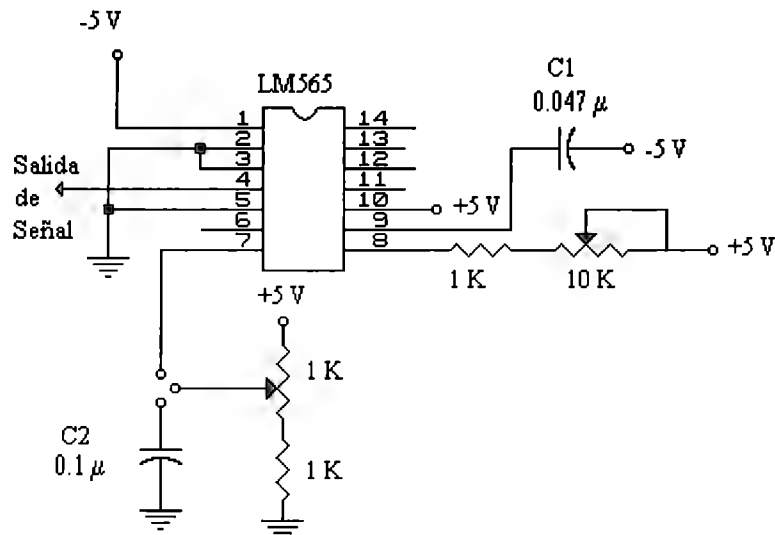


Figura 22. Circuito modulador F.M.

El circuito demodulador también cuenta con un LM565 y el diagrama de conexiones es el siguiente.

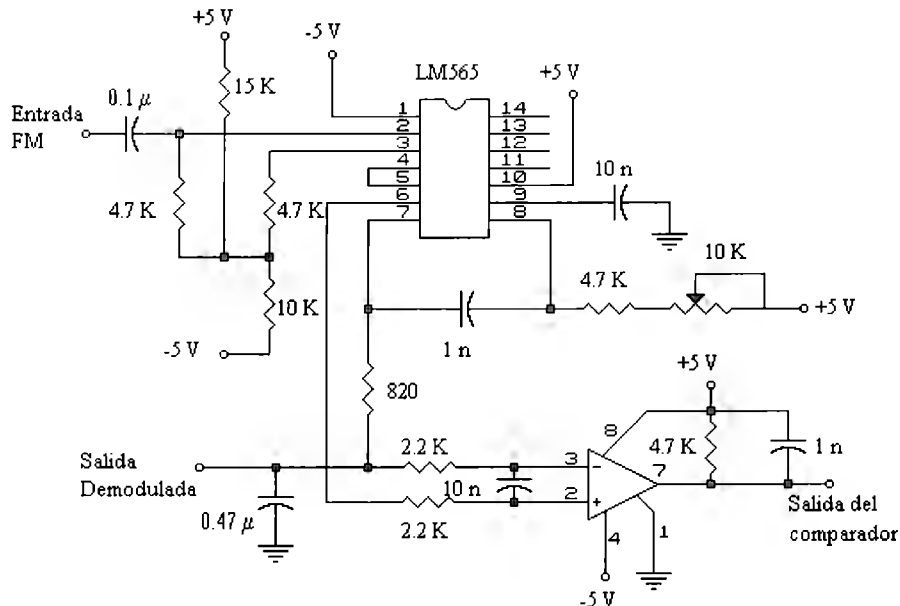


Figura 23. Circuito demodulador F.M.

## 4.3 Demodulador

### 4.3.1 Recuperación de sincronía

Esta etapa fue diseñada para mantener sincronizado el sistema, es decir, asegurar que el procesamiento de las señales sea en un tiempo definido por el reloj implantado al inicio de la modulación en CDMA. Este circuito se compone de un derivador que antecede a un PLL configurado para tener una frecuencia de amarre de 192 kHz, que es la frecuencia de las señales expandidas.

La señal recibida por el demodulador CDMA es una señal discreta de ancho de banda 192 kHz y es una suma de dos señales digitales, por lo que tiene 3 niveles: cero, 3.5 y 7h volts. La forma de la señal es cuadrada y al pasar por el derivador los cantos positivos y negativos de la señal, este tiene en la salida pulsos negativos o positivos, dependiendo si la señal sube o baja. Esta señal derivada es periódica con el mismo ancho de banda que la señal del sistema. Posteriormente entra a un PLL (Phase Lock Loop) para amarrarse a esa frecuencia y en caso de cambio, cambiar con ella. De las siguientes formulas se obtuvieron los valores de configuración del PLL

configuración del PLL  $f_o = \frac{0.3}{R_0 C_0}$  para la frecuencia de libre oscilación que es 192 kHz,  $f_c = \pm \sqrt{\frac{\Delta f_H}{(2\pi)(3600)C_1}}$  para el rango de captura y  $\Delta f_H = \pm \frac{8f_o}{V_c}$  para el rango de amarre. Los valores escogidos son:

C1 → 330 pF

C2 → .001uF

R1 → 1kHz

R2 → 1kHz

El circuito es el siguiente, se utilizó un Op-Amp TL082 y un PLL 565 para el armado:

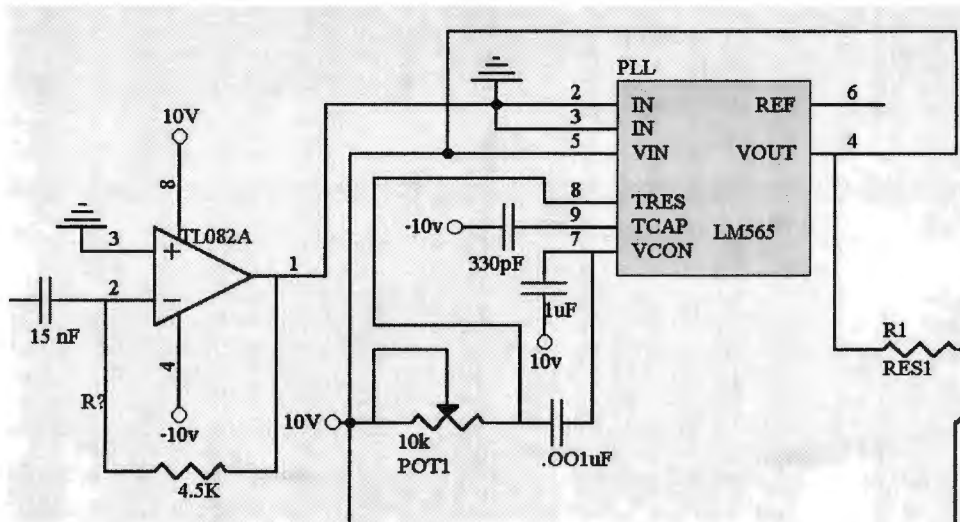


Figura 24. Circuito de recuperación de sincronía.

### 4.3.2 Circuitos de duplica

#### 4.3.2.1 Circuito doblador de frecuencia

Este circuito se diseñó para doblar la frecuencia de los relojes digitales. Funciona por el efecto de retardo que un circuito de desfaseamiento le da a la señal de reloj original. Estas dos señales ingresan a una compuerta XOR, en donde se realiza la operación booleana propia de esa compuerta. Al inicio de la señal original, en su parte "alta" y al final de esta parte e inicio de la parte "baja" se forman dos pulsos, doble de la frecuencia original; ya que es la parte en donde las señales son diferentes y provoca un estado "alto". Cuando las señales son iguales de nuevo, se vuelve al estado "bajo". Para este fin se aprovechan las características de la compuerta OR exclusiva. Cuando se hace la operación para dos pulsos del mismo estado el resultado es bajo y cuando la operación es hecha para pulsos de estados diferentes el resultado es un estado en alto. Después de obtener los pulsos al doble de la frecuencia de la compuerta XOR, esta señal se introduce a un multivibrador 74LS123. Este CI cambia el ciclo de trabajo positivo de estas señales, aumentándolo y se obtiene así una señal de reloj propia, con la cual se sincronizan los registros. El diagrama de conexiones del multivibrador se encuentra en la figura 27.

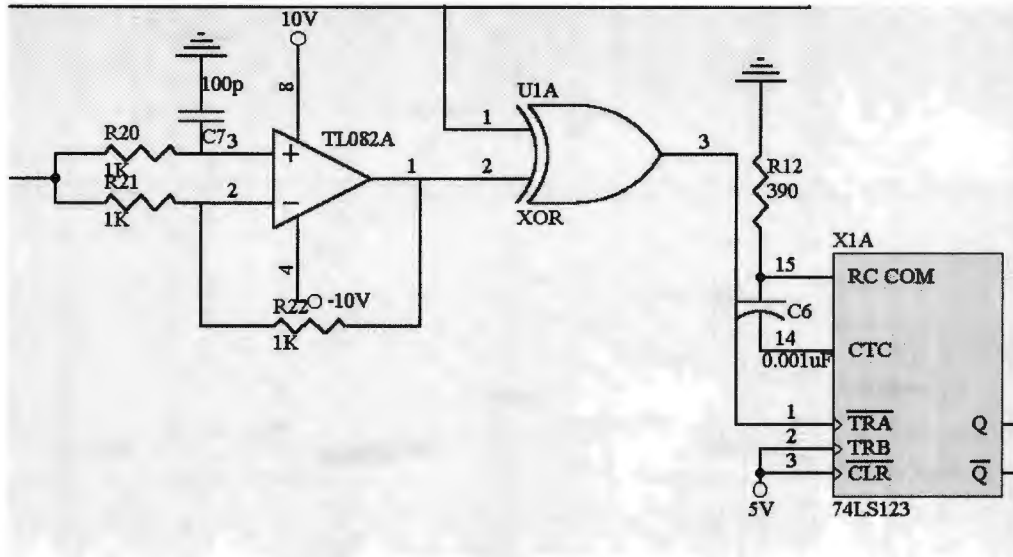


Figura 25. Circuito doblador de frecuencia.

Se utilizó para este objetivo una compuerta XOR de la familia TTL, 74LS86 cuyo diagrama de conexión es el siguiente:

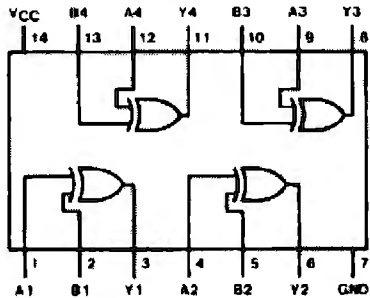


Figura 26. Diagrama de conexión de compuerta XOR

$$Y = A \oplus B = \bar{A}B + A\bar{B}$$

Inputs		Output
A	B	Y
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	L

Fig. 26. Diagrama de conexión de una compuerta XOR

Tabla 5. Tabla de verdad de una compuerta XOR

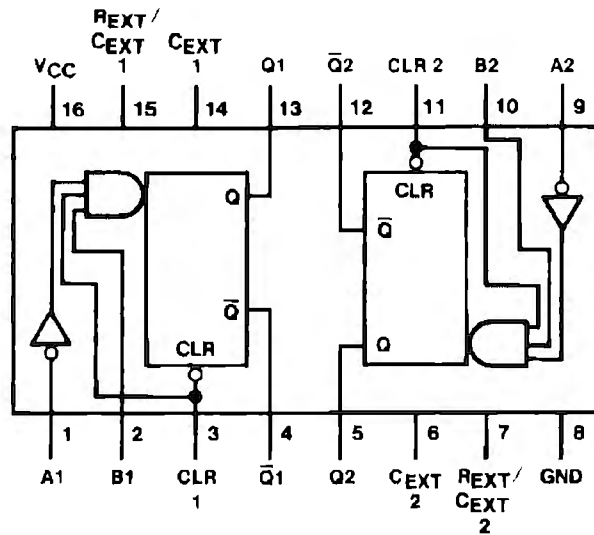


Figura 27. Diagrama de conexiones 74LS123



### 4.3.3 Demodulación

Esta es la etapa de recuperación de la señal original en el demodulador, aquí se utilizan las señales de reloj que hemos descrito con anterioridad. La demodulación consiste en la correlación de la señal que contiene la adición de las dos señales moduladas en CDMA, con el código de una de las señales que se quiera recuperar. Se plantearon dos formas de llevar a cabo esta correlación:

- Método de multiplicación y suma
- Filtro Adaptivo

#### 4.3.3.1 Método de multiplicación y suma

Este método consiste en emular la acción de un correlador, cuya función es:

$$\phi_{xw}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t + \tau)w^*(\tau)d\tau$$

Correlación

Se puede apreciar que consiste en la multiplicación de dos señales en un intervalo de tiempo T, después se suman los valores de esas multiplicaciones en el mismo intervalo T, es decir cada multiplicación se va sumando, se acumulan los valores. Para lograr este efecto, se hace la multiplicación analógica de la señal de pseudo-ruido (señales moduladas CDMA) con el código de la señal a recuperar. Esta multiplicación es muestreada con un Sample/Hold que utiliza el doble de la frecuencia de las señales, esto es para asegurar que la mitad del periodo tome las muestras de los valores y la otra mitad del periodo mantenga ese valor.

Estos valores son sumados en un Integrador-acumulador o Sumador-acumulador que a su salida entrega la suma acumulada en un periodo T de la señal muestreada anteriormente. A la salida del sumador-acumulador se conecta en cascada un amplificador operacional en configuración inversor para obtener un voltaje positivo.

##### 4.3.3.1.1 Multiplicación

Esta primera etapa consiste en la multiplicación de la señal de pseudo-ruido con el código de la señal a recuperar. Se utiliza un Sample/Hold LM398 en cascada con un multiplicador analógico AD633. Primero se muestrea la señal de pseudo-ruido en el S/H y posteriormente se introduce en el multiplicador junto con el código de la señal a recuperar que proviene de un registro contenedor. La señal a recuperar es escogida por medio de un switch, esto es manual, ya que el usuario tendrá la libertad de elección. A continuación se presentan los circuitos utilizados para esta etapa de emulación de la correlación:

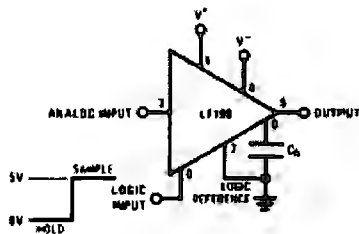


Figura 28. Diagrama del LF398

El capacitor utilizado  
 $C = 5.6\text{pF}$

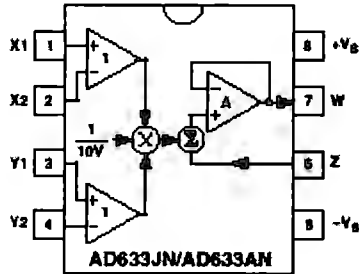


Figura 29. Diagrama del AD633

$$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10\text{ V}} + Z$$

Función de transferencia

#### 4.3.3.1.2 Circuito Sumador-Acumulador

La segunda etapa de la correlación es emular la suma de las multiplicaciones. Este circuito es complicado ya que se necesita acumular las sumas por un intervalo de tiempo  $T$ , el circuito que se plantea en este inciso es un amplificador operacional en configuración integrador. Este circuito se encarga de integrar la señal de entrada. A la salida se obtiene la suma acumulada de los valores entrantes al integrador y se observa una descarga en el tiempo  $nT$ , después de la descarga el circuito comienza la suma de nuevo. El integrador debe usarse en su región de operación de atenuación, como un pasabajas, para que deforme la señal integrada y sea una suma de amplitudes.

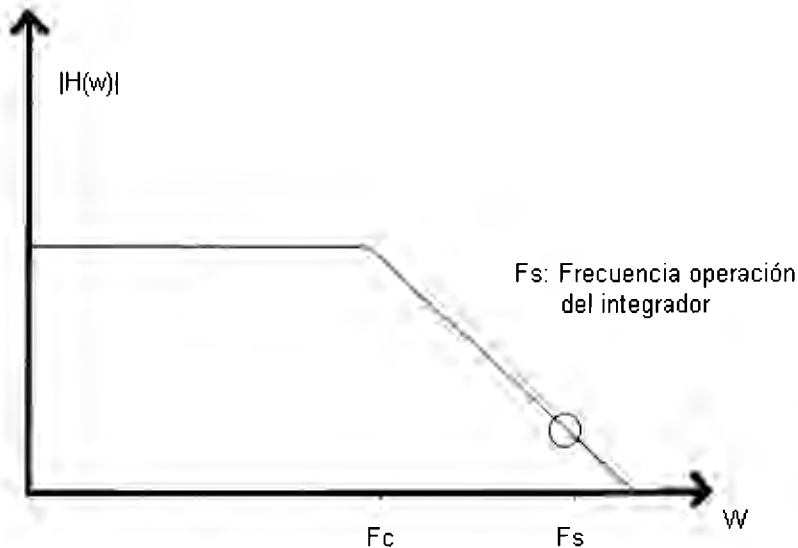


Figura 30. Región de integración utilizada, para lograr suma de amplitudes

Antes de la etapa del sumador se agrega una etapa de S/H con las mismas especificaciones del circuito pasado, para asegurar que la señal a sumar sea un valor de amplitud constante en cada muestra. En este caso el intervalo es de 4 muestras salientes del S/H que muestrea el resultado de la multiplicación. Esto es debido a que se comprime en esta etapa la expansión en frecuencia sufrida en el modulador, es decir, se vuelve a un ancho de banda de 12 kHz. La señal obtenida de 96kbps o 48kHz pasa a una etapa de decisión para asignarle un 0 ó 1 lógico y recuperar totalmente el mensaje original.

El integrador fue construido con un amplificador operacional LM741, del cual ya se habían dado las especificaciones. El circuito resultante junto con el inversor de voltaje es:

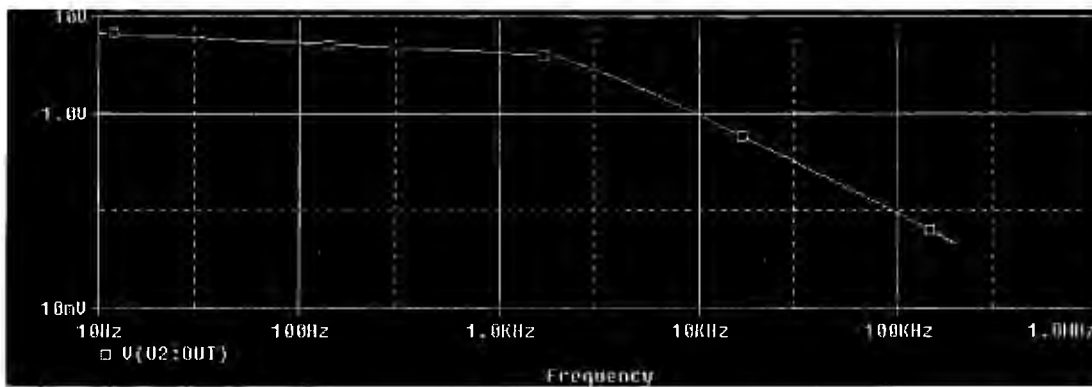


Figura 31. Respuesta en frecuencia del sumador- acumulador

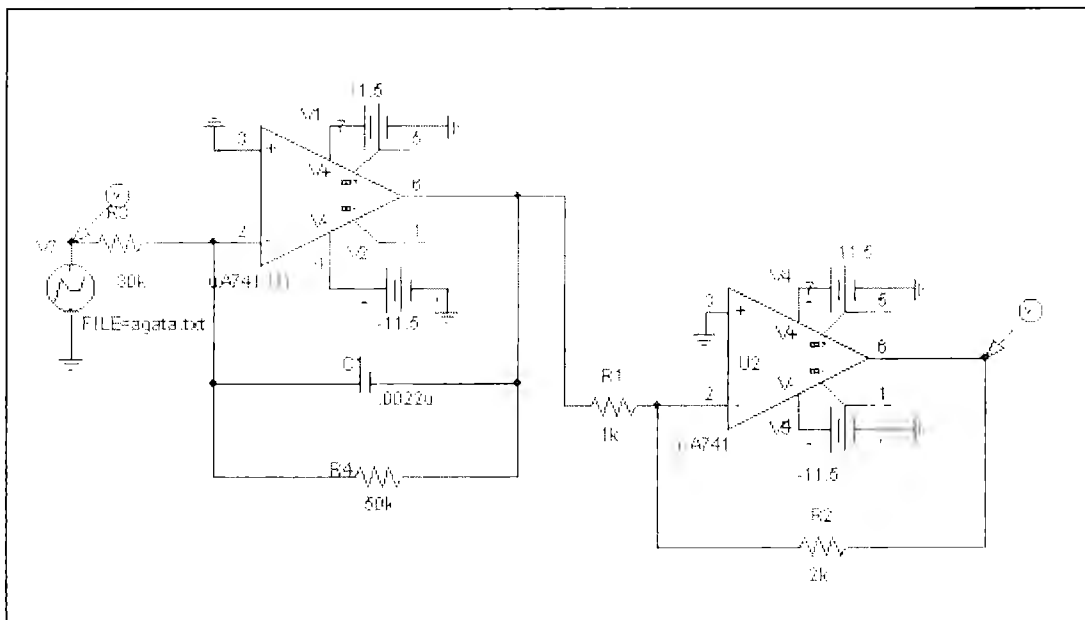


Figura 32. Circuito Sumador-acumulador

#### 4.3.3.2 Filtro Adaptivo

La función correlación se puede emular substituyéndola por un filtro adaptivo cuya salida es:

$$S_s(t) = \int_0^T x(t-\tau)q(\tau)d\tau$$

Filtro adaptivo

El término filtro adaptivo proviene de su cualidad de ser cambiado o adaptado en medio de la operación, esto es útil para lograr un criterio predefinido de funcionamiento. En ciertas aplicaciones de comunicación y radar es útil diseñar filtros adoptivos dado que cuando la entrada al filtro sea igual a la señal dada, la salida sea la autocorrelación de esas funciones.

En este proyecto se puede utilizar las características del filtro adoptivo para realizar la demodulación de las dos señales de radio.

#### 4.3.4 Etapa de decisión

En esta última parte, el demodulador entrega un 1 o un 0 lógico a la salida del circuito, recuperando así en su totalidad el mensaje original a la frecuencia de 48kHz inicial. Se utiliza un circuito comparador, configurando un amplificador operacional en esta modalidad. Se utilizó un comparador de ventana para que cuando se efectúe la suma de un 1 lógico, a la salida del comparador salga una señal constante de 10V, que pasa por un divisor de voltaje y se convierte en una señal de 5V. Si la suma pertenece a la de un cero lógico la salida del comparador es cero volts y eso representa un cero lógico a la salida. La señal original en banda se recupera en su formato digital a una frecuencia de 48 kHz. Previamente se hizo el cálculo de la magnitud de la suma de 4 muestras del correlador para representar un 1 lógico y diseñar con ese valor el comparador de ventana, con ese valor se estableció la referencia de comparación.

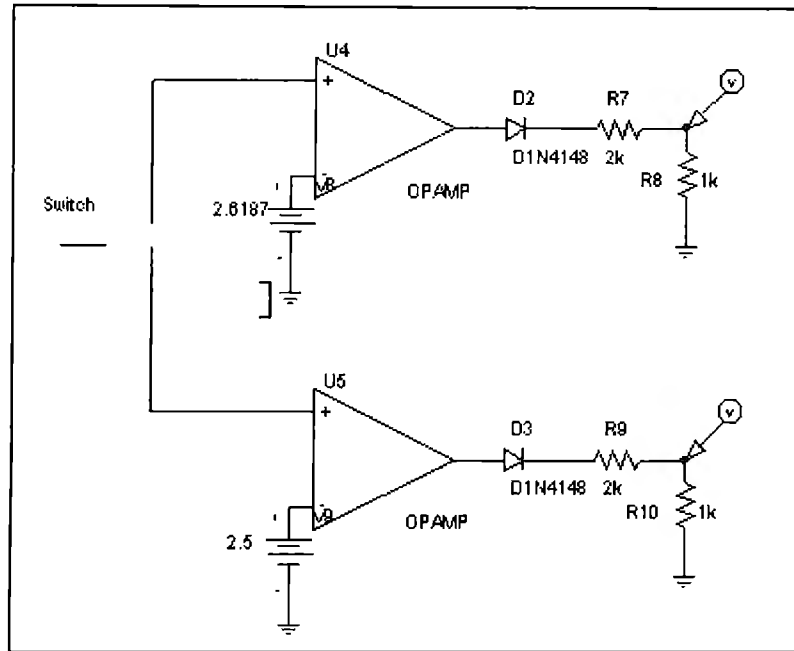


Figura 33. Diagrama de Comparador de ventana

A la salida de este comparador se conecta un multivibrador 74LS123 para asegurar que el ciclo de trabajo del mensaje recuperado del código 2 sea del 50%.

# 5. Resultados

## 5.1 Circuitos Finales

### 5.1.1 Circuito Modulador

El diagrama del circuito modulador final es presentado a continuación, sus resultados se mostrarán en el capítulo siguiente.

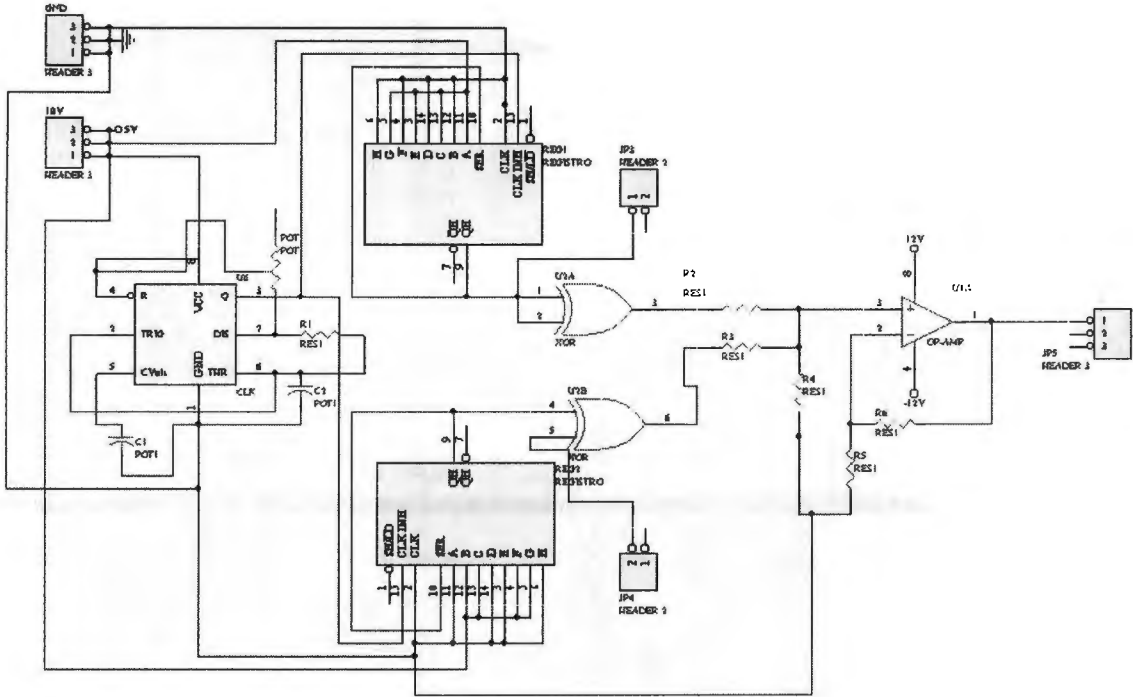


Figura 34. Modulador CDMA

### 5.1.2 Circuito Demodulador

El diagrama del circuito demodulador final es presentado a continuación, sus resultados se mostrarán en el capítulo siguiente.

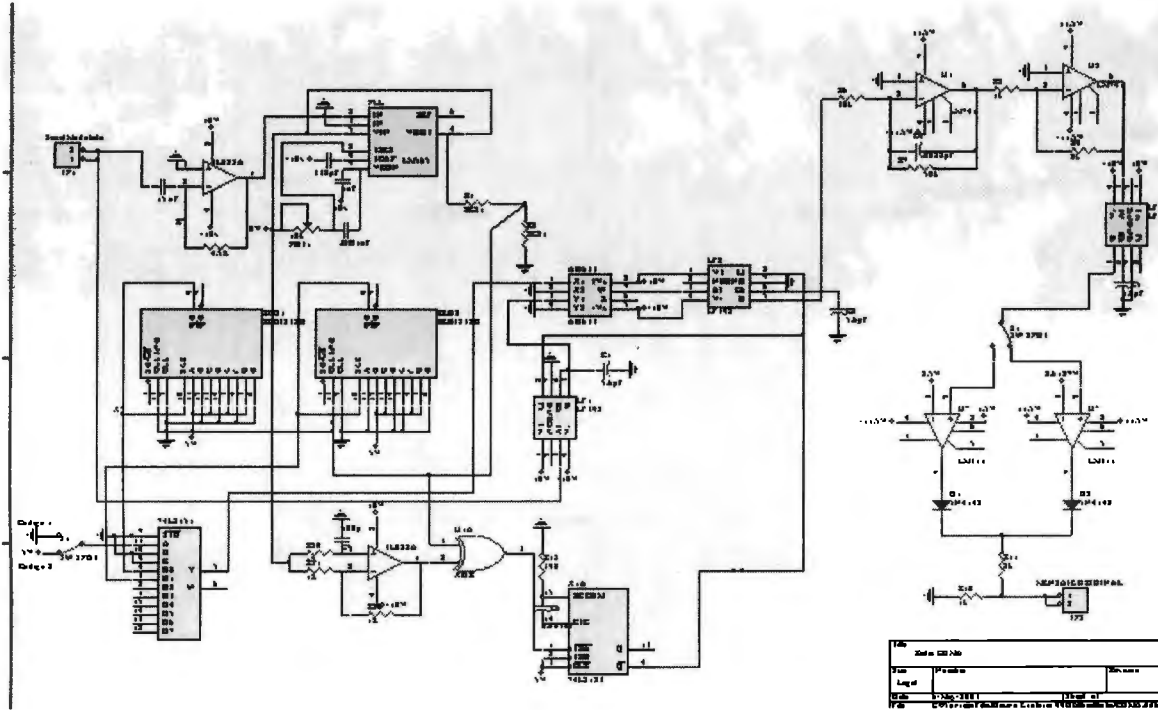


Figura 35. Demodulador CDMA

## 5.2 Resultados Gráficos

### 5.2.1 Modulador

#### 5.2.1.1 Señal de reloj

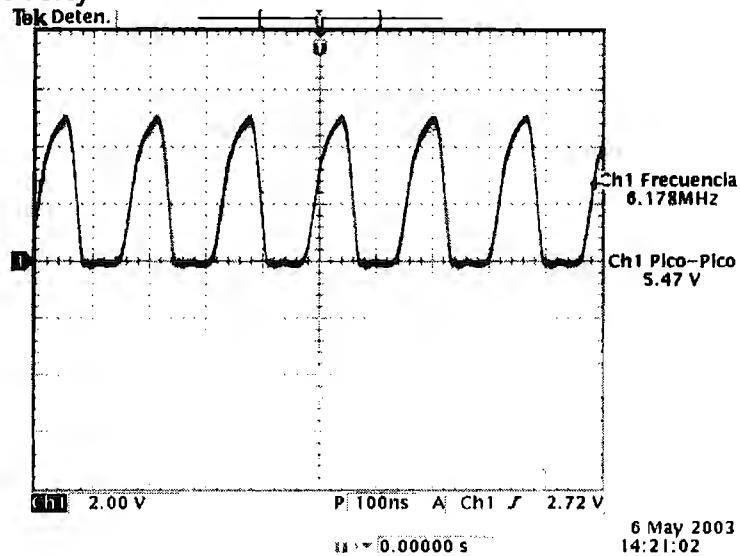


Figura 36. Salida del cristal.

En esta figura se muestra la frecuencia obtenida del cristal por medio del circuito CMOS inversor. Esta medida se obtiene del pin 2 del circuito. La frecuencia que genera el cristal es de 6.144MHz con una variación de  $\pm 40$ kHz. Podemos ver que esta variación no es significativa a la hora de obtener la frecuencia final deseada.

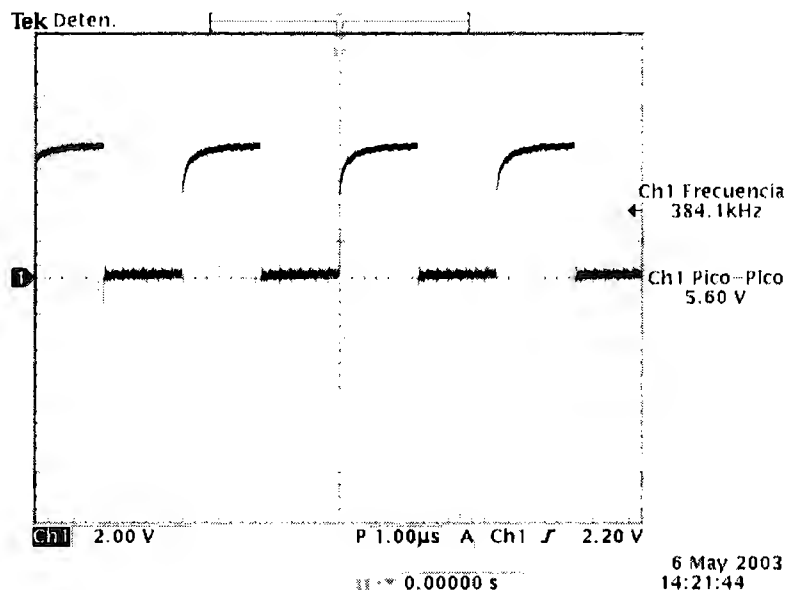


Figura 37. Frecuencia de sincronización



La figura muestra la frecuencia obtenida en el MSB del contador. Como podemos ver, esta frecuencia es la frecuencia del cristal (6.144MHz) dividida entre 16. La variación obtenida es de  $\pm 100\text{Hz}$ , un error casi despreciable, si contamos los  $\pm 40\text{kHz}$  de error en el cristal. La señal obtenida es muy estable y sin ruido, y aunque la onda no es exactamente cuadrada, cumple con los requerimientos necesarios para poder dar al circuito modulador una buena sincronización.

### 5.2.1.2 Códigos

A continuación se presentan los códigos utilizados en la modulación y demodulación. El primer código es la secuencia 0101, el segundo es la secuencia 1001.

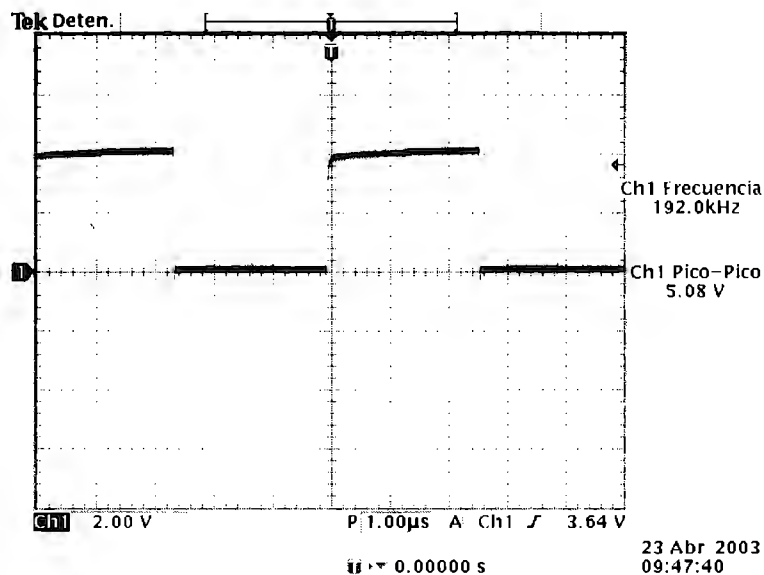


Figura 38. Código 1. (0101)

Al temporizar el registro número uno previamente configurado con su debido código obtenemos a la salida una señal cuadrada de 192kHz. Esto es equivalente a 4 veces la frecuencia del mensaje, por lo que cada bit de mensaje se multiplicará por 4 bits de este código. La amplitud de la señal obtenida es de 5 V, lo cual es un nivel de voltaje TTL.

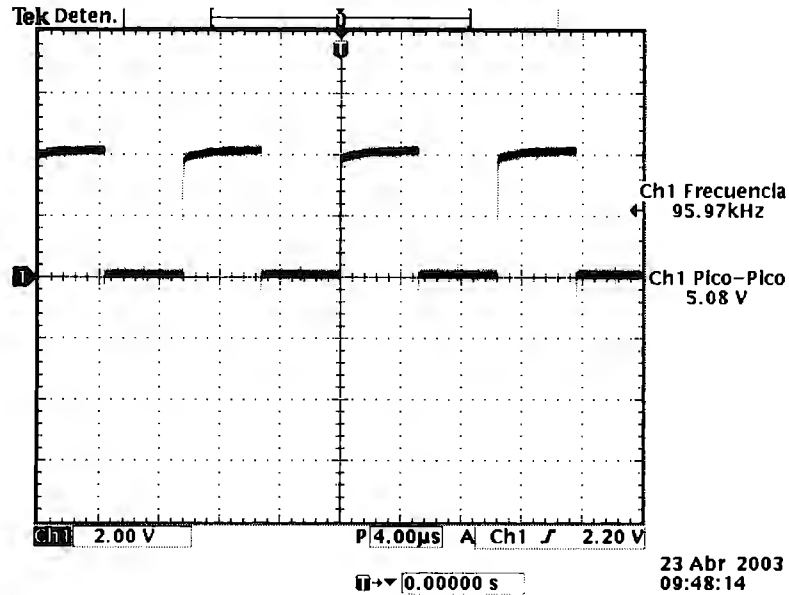


Figura 39. Código 2. (1001)

Al temporizar el registro número uno previamente configurado con su debido código obtenemos a la salida una señal cuadrada de 96kHz. Esto es equivalente a 2 veces la frecuencia del mensaje, por lo que cada bit de mensaje se multiplicará por 4 bits de este código. La amplitud de la señal obtenida es de 5 V, lo cual es un nivel de voltaje TTL.

### 5.2.1.3 Modulación

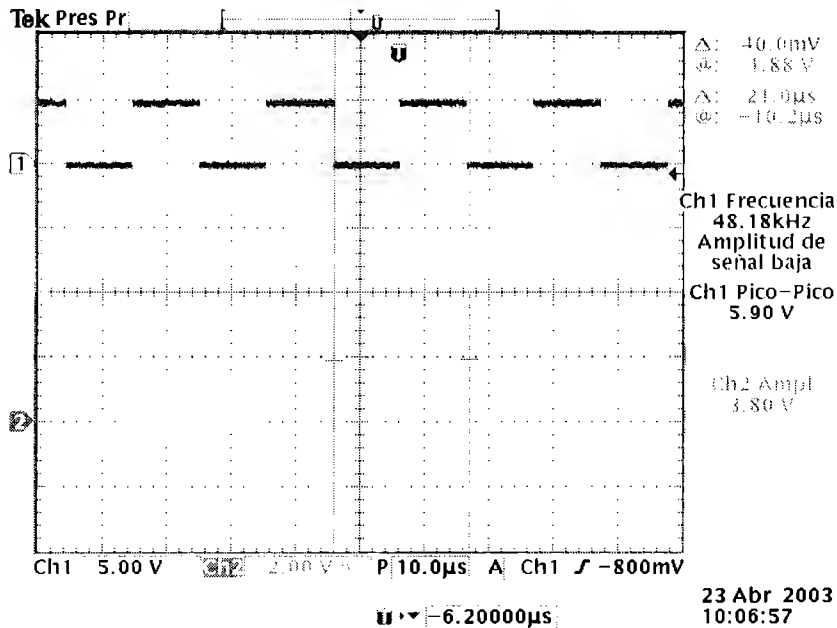


Figura 40. Salida XOR de señal de mensaje con Código 1.

La señal (1) al modularse con el código número uno obtiene la forma (2). Por cada bit de la señal de menor frecuencia hay 4 de la segunda señal. Puesto que una XOR modula la señal de voz con el código, los 0's de la señal conservan el código original (0101) y los 1's invierten la señal (1010). En la figura 40, se señala con los cursores del osciloscopio un periodo de la señal modulada.

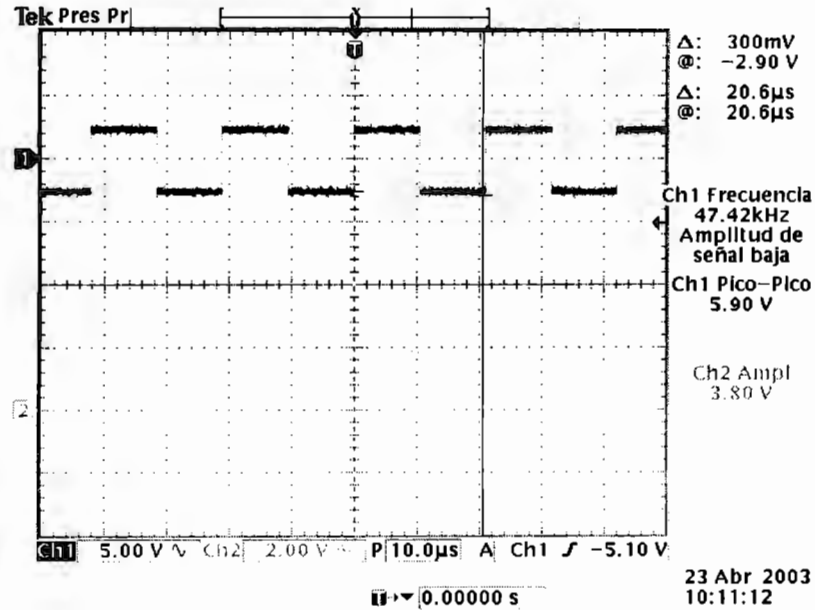


Figura 41. Salida XOR de señal de mensaje con Código 2.

La señal (1) al modularse con el código número uno obtiene la forma (2). Por cada bit de la señal de menor frecuencia hay 4 de la segunda señal. Puesto que una XOR modula la señal de voz con el código, los 0's de la señal conservan el código original (1001) y los 1's invierten la señal (0110). En la figura 41, se señala con los cursores del osciloscopio un periodo de la señal modulada.

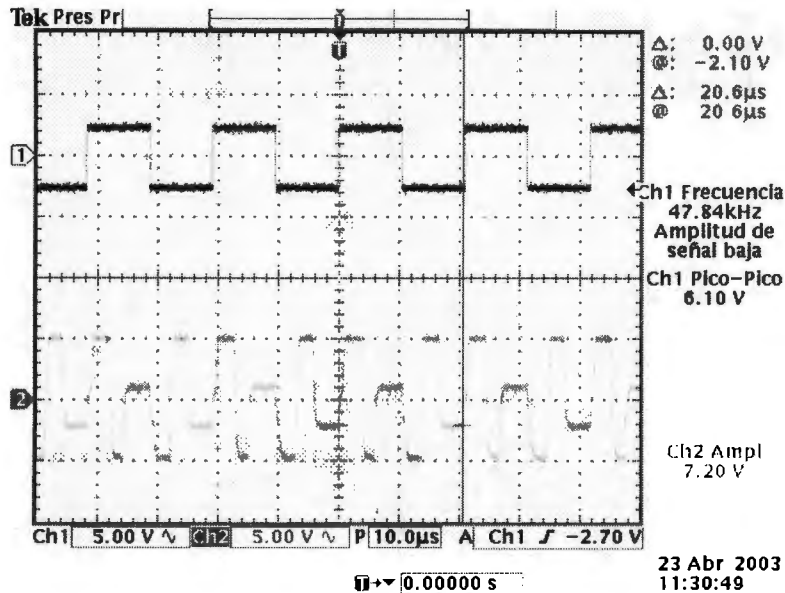


Figura 42. Sumador de canales.

Esta es una señal de pseudoruido, es el resultado de la adición de las dos señales moduladas, es decir, la suma de la XOR de las respectivas señales con sendos códigos. En la figura 42 se puede ver que la suma consiste de una onda discreta de 3 niveles de 0, de 3.6 y de 7.2 V. Cada nivel es resultado de la suma de un bit de señal modulada 1 con otro bit de la señal modulada 2. La suma de dos 1's tiene como resultado un valor de voltaje de 7.2V, la suma de un 1 y un 0 de 3.6 V y la suma de dos 0's será 0. El Op-Amp sumador hace que la amplitud baje en un 30%, sin afectar esto el resto del proceso (Demodulación). Esta señal para cualquier receptor que no cuente con un demodulador CDMA con los códigos antes mencionados será una señal de ruido no demodulable.

## 5.2.2 Demodulador

### 5.2.2.1 Recuperación de sincronía

La primera etapa de la recuperación de sincronía es el derivador, al cual se le introduce la señal modulada en CDMA de los dos canales de audio, entregando su onda derivada como se aprecia en la siguiente figura.

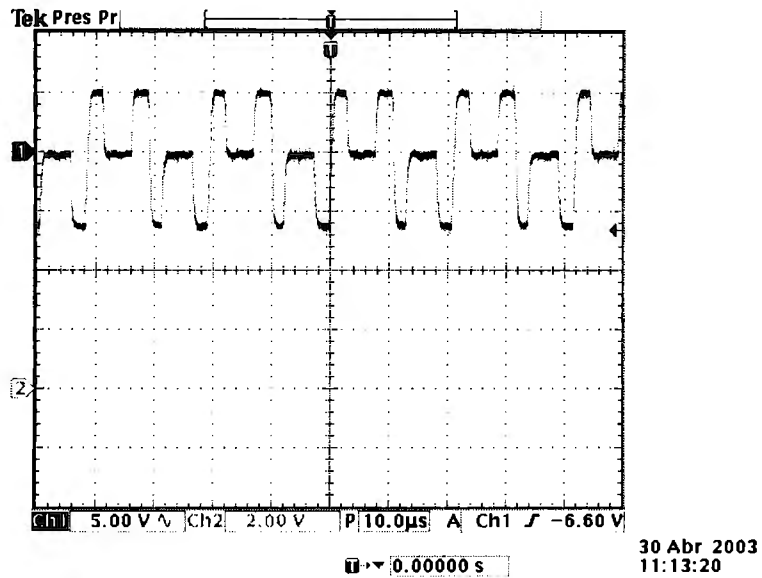


Figura 43. Derivador

El pulso mostrado en esta gráfica es la frecuencia de libre oscilación del PLL LM565. Esta señal es a la que oscila el circuito sin una señal de referencia.

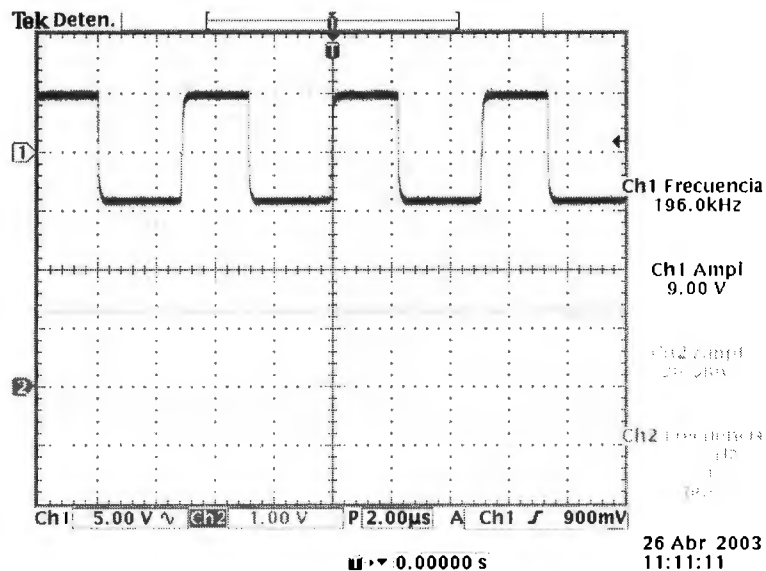


Figura 44. Frecuencia de libre oscilación PLL.

Al aplicarle la señal derivada de los mensajes modulados en CDMA, la frecuencia del PLL se amarra a 192kHz. Como se muestra en la siguiente figura.

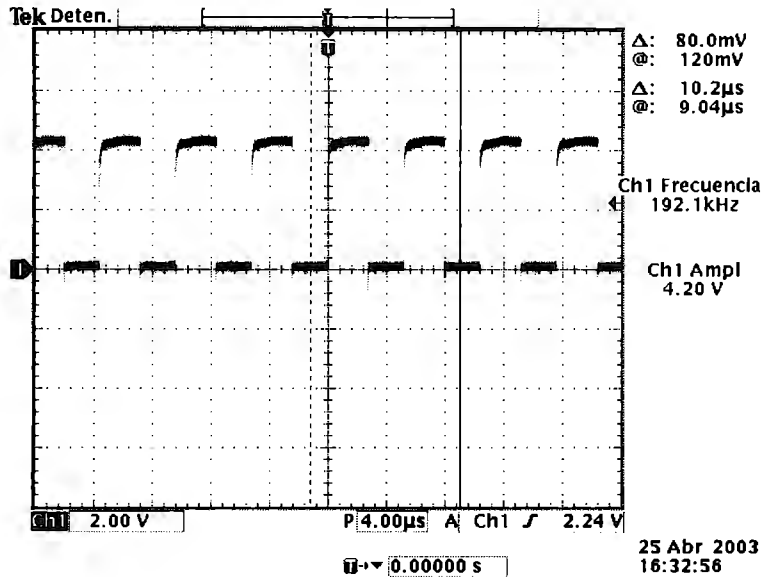


Figura 45. Frecuencia de amarre del PLL.

En esta figura el PLL se encuentra sincronizado a la frecuencia de la señal modulada en CDMA. Se necesita tener el doble de esta frecuencia para que los códigos almacenados en los registros cuenten con la frecuencia necesaria para la demodulación. Por lo que la señal sincronizada de salida del PLL se desfasó y se realizó la operación booleanda XOR entre estas dos señales obteniendo una señal del doble de la frecuencia, la cual se muestra en la figura siguiente.

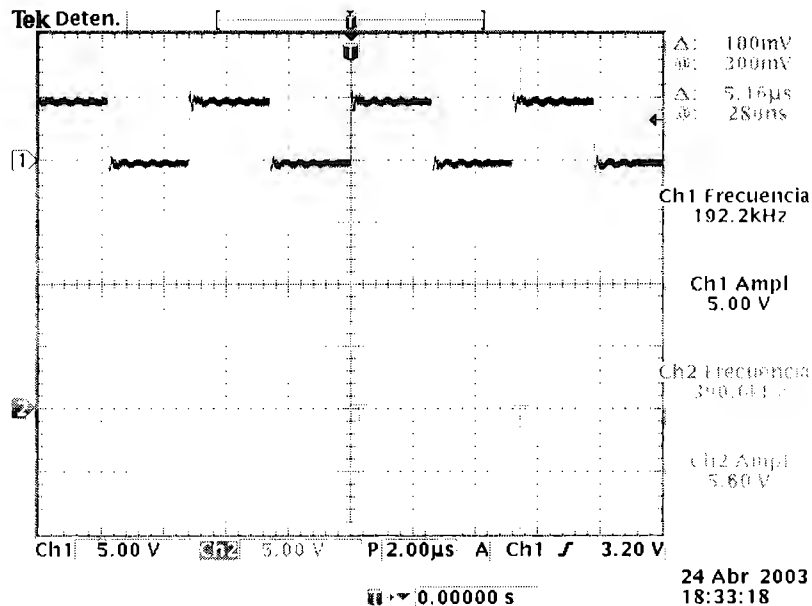


Figura 46. Salida de la compuerta XOR, frecuencia doblada.

Esta señal se introdujo a un multivibrador para aumentar su ciclo de trabajo positivo y obtener una señal de reloj propia. La salida del multivibrador se muestra a continuación.

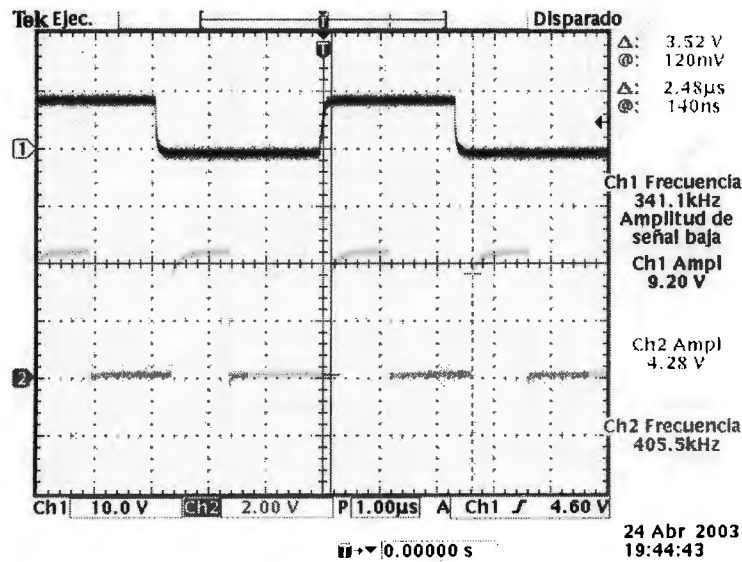


Figura 47. Salida del multivibrador, frecuencia de reloj.

### 5.2.3 Etapa de Demodulación

Esta frecuencia de reloj se utilizó para sincronizar los registros y obtener los códigos de demodulación. Estos códigos se introducen a un multiplexor 74LS151 para escoger de entre ellos la señal a demodular, estos códigos tienen la misma forma y frecuencia que los de las figuras 38 y 39. El método de sumador acumulador fue seleccionado para la recuperación de la señal.

Una vez escogido el canal deseado con un switch que controla la salida del multiplexor, se introduce a un multiplicador analógico junto con la señal modulada en CDMA. Las señales multiplicadas son las siguientes:

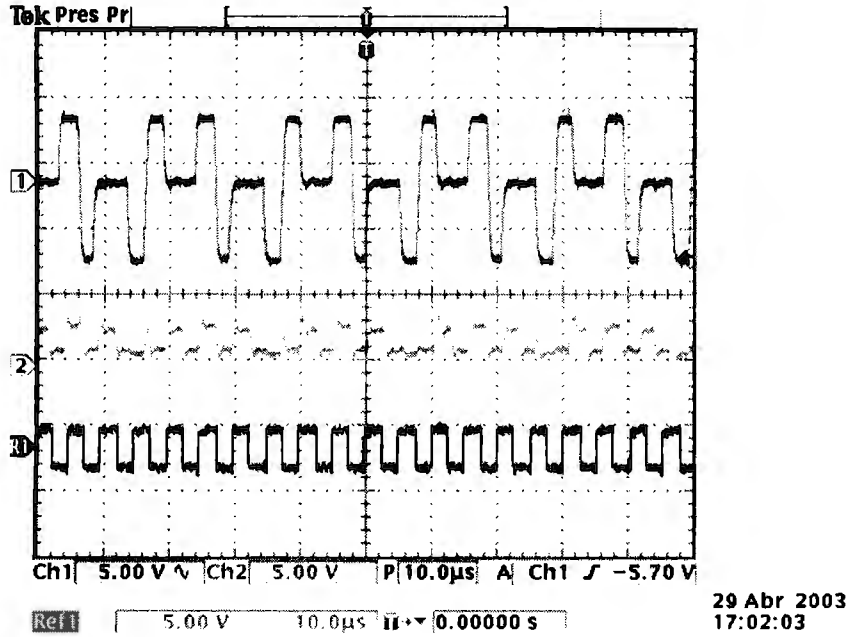


Figura 48. Multiplicación código 1 y señal modulada.

La salida de este multiplicador con entradas del código 2 y señal CDMA se presenta a continuación.

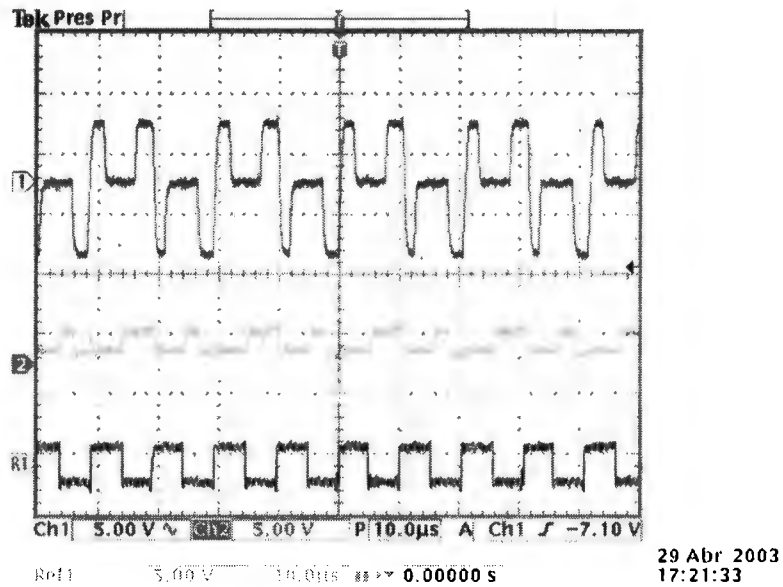


Figura 49. Multiplicación código 2 y señal modulada.



### 5.2.4 Sumador-Acumulador

La simulación de la operación del circuito sumador se muestra a continuación, se pueden apreciar dos señales. La señal roja es la simulación del mensaje a sumar, esta señal es idéntica a la mostrada anteriormente en la figura 49. La señal azul es la salida del circuito sumador acumulador, el cual permite sumar los voltajes representativos de cada bit de mensaje. En esta señal se aprecia el cambio en el nivel de voltaje cuando existe un pulso positivo y su disminución en la falta de este. En la representación de un 1, la señal tiene dos pulsos, en la de un 0 tiene 1; por lo tanto, el valor de la integración del 1 es mayor a la del cero. Esto permite a un circuito de decisión, un comparador, señalar qué valor toma el bit que representa la suma. Así mismo con la señal demodulada con el código 1.

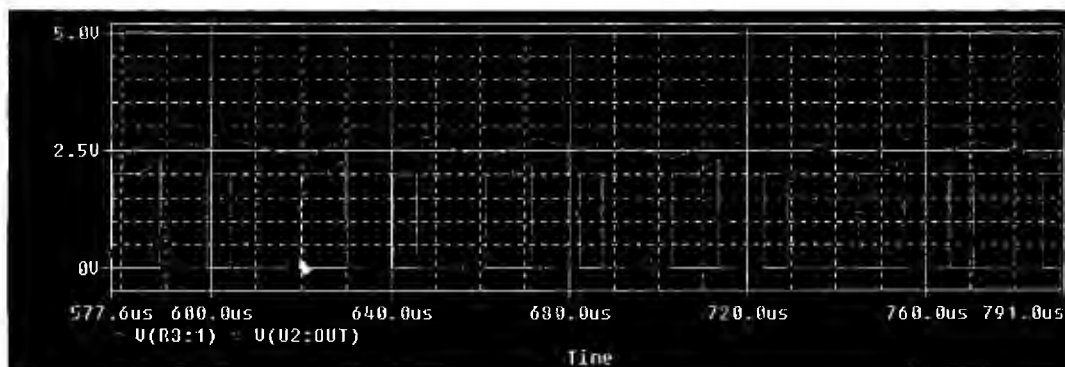


Figura 50. Sumador acumulador, código 2

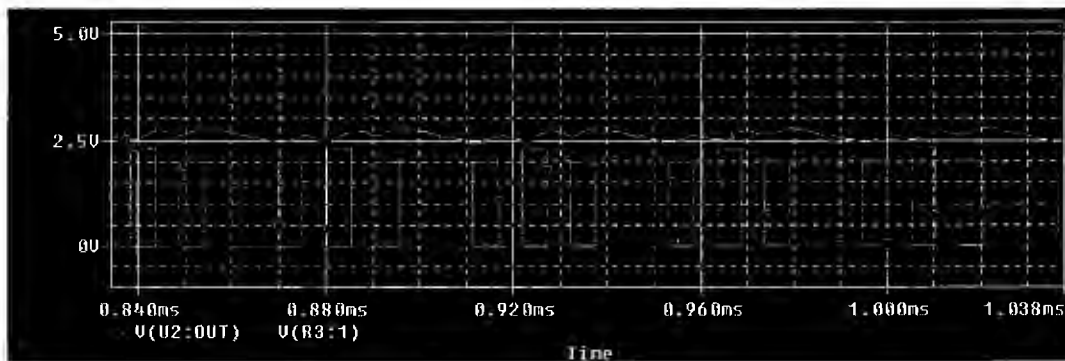


Figura 51. Sumador acumulador, código 1

A la salida del comparador se obtiene la señal mostrada en verde en la gráfica siguiente:

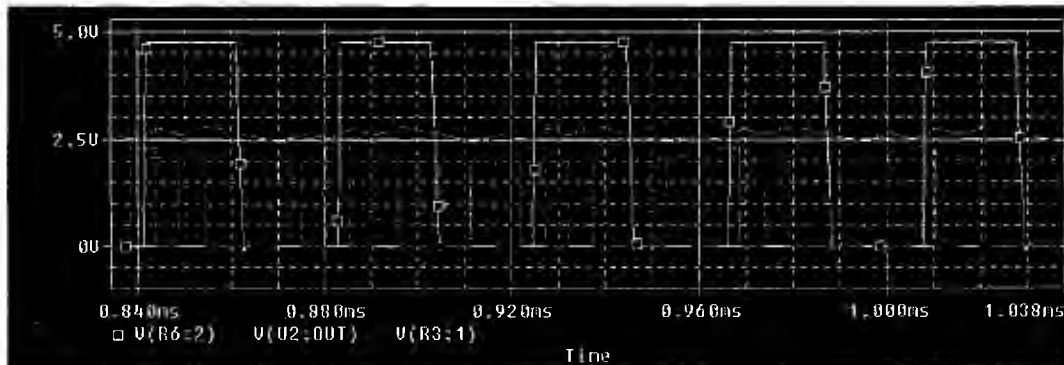


Figura 52. Sumador acumulador y salida de comparador, código 1

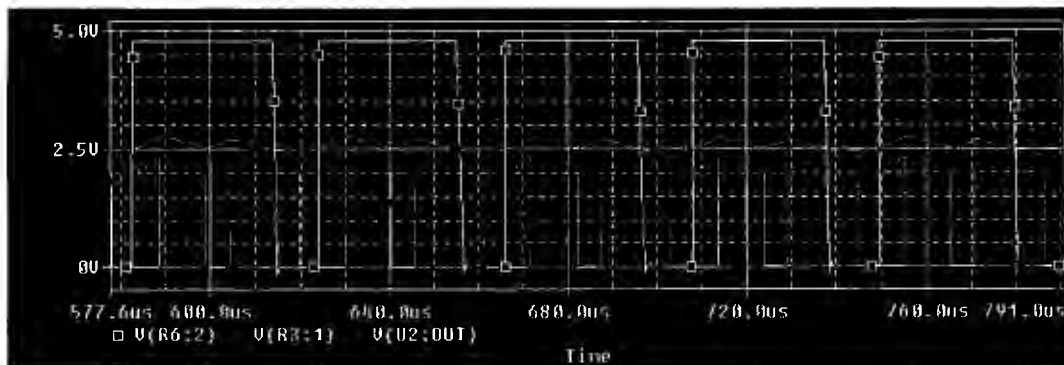


Figura 53. Sumador acumulador y salida de comparador, código 2

Esta señal es la recuperación fiel del mensaje original, tiene la misma frecuencia y amplitud. Sin embargo, el ciclo positivo de la señal recuperada no. 2, no es del 50% en esta señal debido a que el comparador toma una parte del bit 0 como positivo. Esto no afecta la recuperación de la señal ya que se conecta en cascada un multivibrador 74LS123 para ajustar el ciclo de trabajo y obtener una señal idéntica a la modulada al inicio.

La salida del sumador acumulador se muestra a continuación

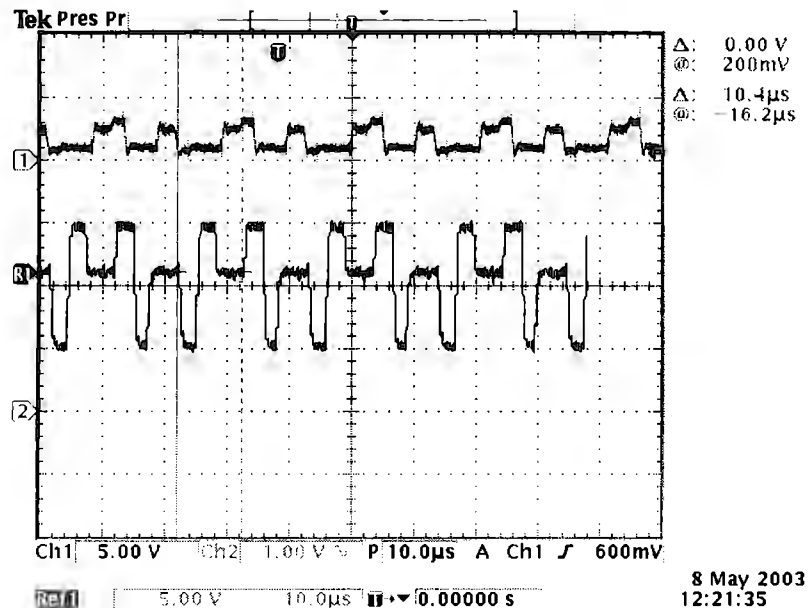


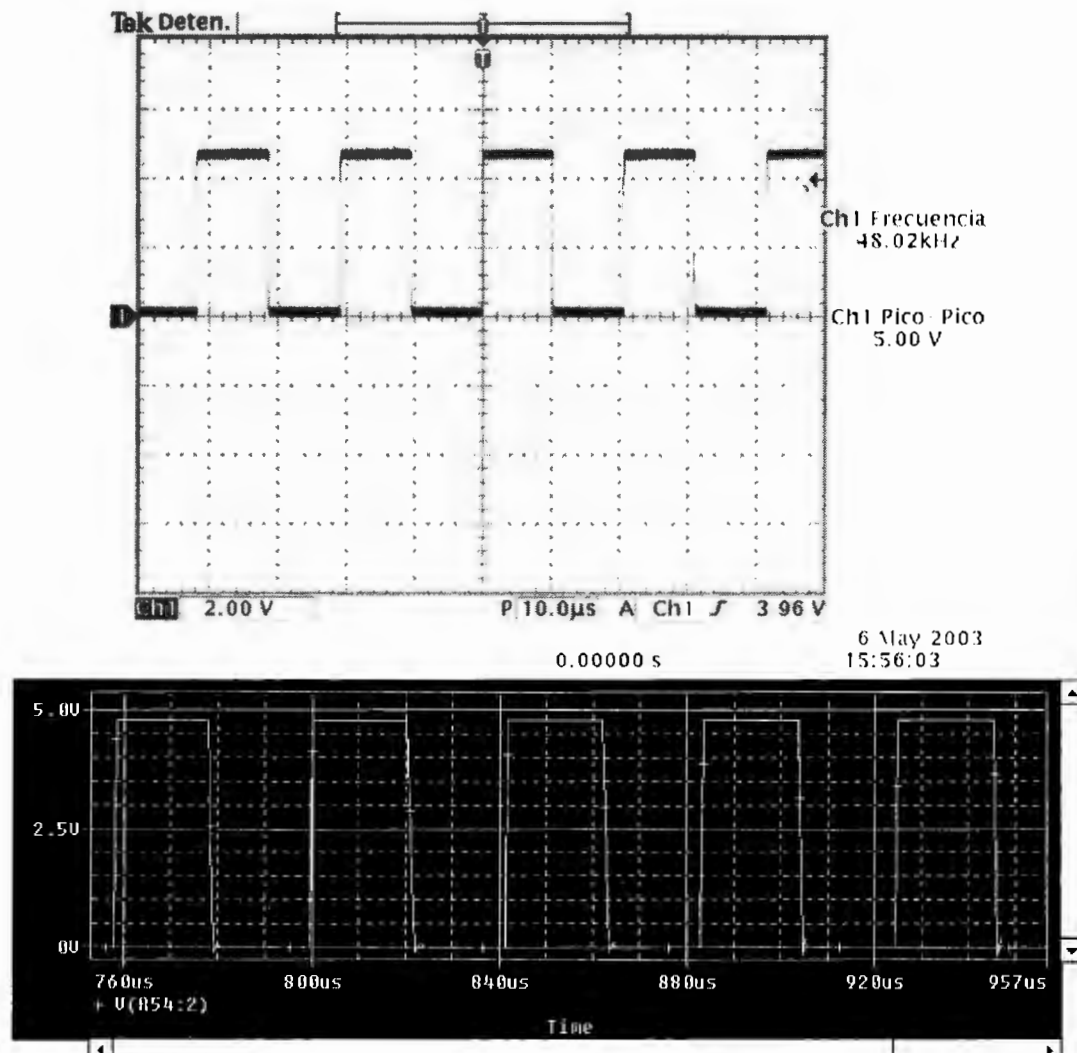
Figura 54. Salida del sumador acumulador

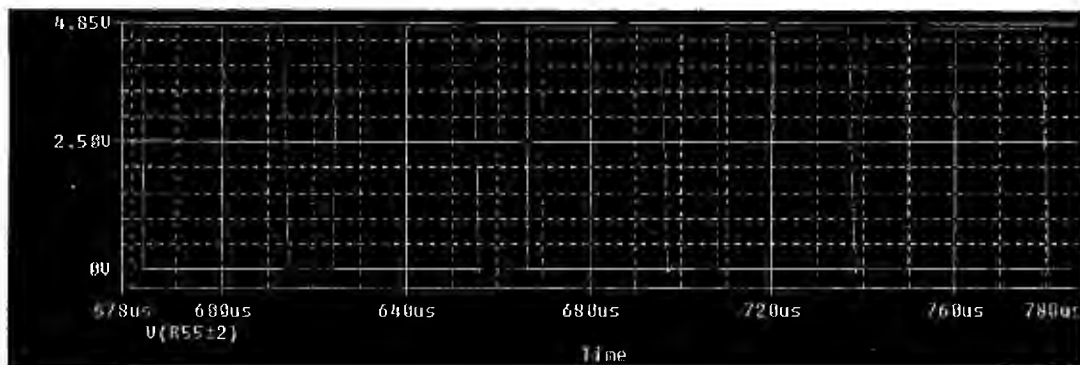
Se aprecia como las magnitudes son sumadas y el tiempo de descarga del capacitor es grande, de esta manera la magnitud cae lentamente y alcanza a acumularse junto con la del voltaje siguiente.

A partir de esta etapa se conectan los comparadores que sirven para tomar la decisión de darle el valor de 0 o 1 a la suma.

## 6. Conclusiones

Los resultados obtenidos a la salida del demodulador son los esperados y continuación se muestra una comparación entre el mensaje original y el mensaje recuperado.





**Figura 55.** Mensaje original y mensaje recuperado en ambos canales

Se puede notar que el mensaje es recuperado en el demodulador CDMA con las características de frecuencia y voltaje con las que fue mandado. Haciendo posible así transmitir dos mensajes diferentes de ancho de banda de 12 kHz en una misma portadora de radio FM.

Sin embargo el circuito de decisión no pudo ser implementado salvo en la simulación. Esto es debido a la exactitud del diseño y las variaciones físicas que tiene cada elemento. Por ejemplo los amplificadores operacionales varían su comportamiento con relación a Pspice, las variaciones de las resistencias y capacitores y las variaciones de las fuentes de voltaje. Este circuito nunca pudo ser perfeccionado para poder utilizarse físicamente, la falta de tiempo fue un factor decisivo para esto. Aunque todas las actividades fueron planeadas desde el inicio, la complejidad de este circuito hizo imposible la conclusión física del demodulador CDMA.

La opción de demodular el mensaje utilizando un filtro adaptivo fue descartada por falta de tiempo, puesto que un filtro digital de este tipo requiere un diseño complejo que toma en promedio 1 mes y medio. Este filtro tiene etapas de conversión digital-analógica y de programación; por lo que fue imposible realizarlo antes de entregar el proyecto.

Durante el desarrollo del proyecto se conoció a fondo la tecnología CDMA, la cual es usada en telefonía celular, rama de las telecomunicaciones que es de nuestro interés. Durante el proyecto se reforzaron la teoría y la práctica adquiridas en la carrera; además se obtuvieron conocimientos ajenos al plan de estudio IEC, que hoy en día es necesario que todo Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones conozca.

La intención de Radio CDMA era doblar el número de estaciones en la banda FM. El objetivo fue logrado, ya que dos señales de 12 kHz son enviadas por un mismo canal. El ancho de banda del mensaje original es mayor al de las señales de AM, por lo que es una señal de audio confiable, tal vez de un poco menos de calidad que la de FM. Siguiendo nuestra técnica se puede contar con 48 estaciones de radio dentro del cuadrante de FM, sin tener que hacer una gran inversión en los aparatos de radio, ya que el demodulador es barato. Todo este nuevo espacio en el cuadrante de frecuencia modulada puede ser aprovechado para todo lo que se planteó en el prefacio y la definición del proyecto. También se pueden explorar nuevas posibilidades de aplicación para transmisión de datos digitales en la banda de FM.

## 7. Trabajo Futuro

- Más técnicas de conversión Analógico-Digital pueden ser exploradas para aumentar el ancho de banda del mensaje original y alcanzar el objetivo primario del proyecto.
- El proyecto puede tener mejoras en la etapa del sumador y de decisión, ya que los circuitos diseñados anteriormente son difíciles de realizar físicamente debido a sus características específicas, como los niveles de voltaje.
- El nivel de señal del sumador tarda aproximadamente 500 microsegundos en establecerse, esto hace que se pierda una parte de la señal al inicio de la transmisión.
- La etapa de decisión podría ser más estable ya que se usan niveles de voltaje de comparación con milésimas, esto es difícil de obtener físicamente y varía entonces la recuperación de la señal

## 8. Referencias

- "Digital Communications" Proakis, G. John. 4ª edición. Editorial McGraw-Hill. New Cork, 2001.
- "CDMA : principles of spread spectrum communication" Andrew J. Viterbi. Addison-Wesley Pub. Co., c1995.
- "Análisis y diseño de circuitos analógicos" Paul R. Gray, Robert G. 1ª edición. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, 1995.
- "Analog electronics with Op Amps: a source book of practical circuits" Peyton, A.J.
- "Sistemas de telefonía" Huidobro Moya, José Manuel. Editorial Thomson, 2001.
- **Referencias electrónicas**
  - <http://www.cirt.com.mx>
  - <http://www.sct.gob.mx>
  - <http://www.imer.com.mx>
  - <http://bibliotecavirtual.interdesa.com/streamedradio01.html>
  - [http://www.telefonia-es.com/Telefonia%20movil/sist\\_tdma.htm](http://www.telefonia-es.com/Telefonia%20movil/sist_tdma.htm)
  - <http://www.sct.gob.mx>
  - <http://www.cft.gob.mx>
  - <http://www.newwaveinstruments.com/resources>