

TDM
MULTIPLEXACION POR DIVISION DE TIEMPO

JOSÉ GABRIEL DEL VILLAR BARÓN
DIANA MARGARITA JIMÉNEZ NAVARRO
MAURICIO DAVID GANEM LÓPEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DIRECCIÓN DE PROGRAMA INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C

2009

TDM
MULTIPLEXACION POR DIVISION DE TIEMPO

JOSÉ GABRIEL DEL VILLAR BARÓN
DIANA MARGARITA JIMÉNEZ NAVARRO
MAURICIO DAVID GANEM LÓPEZ

Monografía presentada como registro de aprobación del Minor en
Telecomunicaciones

Director
GONZALO LOPEZ

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIAS
DIRECCION DE PROGRAMA INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C

2009

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias, octubre de 2009

Cartagena, de Indias, octubre de 2009

Señores

COMITÉ DE REVISIÓN DE MONOGRAFÍA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

La Ciudad

Apreciados señores:

Por medio de la presente nos permitimos informarles que la monografía titulada
“MULTIPLEXACION POR DIVISION DE TIEMPO TDM” Ha sido Desarrollada
de acuerdo a los objetivos establecidos

Como autores del proyecto consideramos que el trabajo es satisfactorio y amerita ser
presentado para su evaluación

Atentamente,

JOSE DEL VILLAR BARON

Código T00014441

DIANA JIMENEZ NAVARRO

Código T00014442

MAURICIO GANEM LOPEZ

Código T00014461

Señores

COMITÉ DE REVISIÓN DE MONOGRAFÍA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

La Ciudad

Apreciados señores:

Por medio de la presente me permito informarles que la monografía titulada
“MULTIPLEXACION POR DIVISION DE TIEMPO TDM” ha sido desarrollada de
acuerdo a los objetivos establecidos.

Como Director del proyecto considero que el trabajo es satisfactorio y amerita ser
presentado para su evaluación

Atentamente,

GONZALO DE JESUS LOPEZ

Ingeniero Electrónico

Magíster en Ingeniería Eléctrica (C)

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias D. T. y C

Octubre de 2009

Yo JOSE DEL VILLAR BARON identificado con la cédula de ciudadanía
Número 1.128.053.765 de la ciudad de Cartagena. Autorizo a la Universidad
Tecnológica de Bolívar a hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el
catálogo ON LINE de la Biblioteca.

JOSE GABRIEL DEL VILLAR BARON

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias D. T. y C

Octubre de 2009

Yo DIANA JIMENEZ NAVARRO identificada con la cédula de ciudadanía número 1.1128.056.245 de la ciudad de Cartagena. Autorizo a la Universidad Tecnológica De Bolívar a hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catálogo ON LINE de la Biblioteca.

DIANA JIMENEZ NAVARRO

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias D. T. y C

octubre de 2009

Yo MAURICIO GANEM LOPEZ identificado con la cédula de ciudadanía número 1.047.382.122 de la ciudad de Cartagena. Autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar a hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catálogo ON LINE de la Biblioteca.

MAURICIO GANEM LOPEZ

ARTICULO 105

La Universidad Tecnológica de Bolívar, se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados, y no se pueden ser explotados comercialmente sin autorización.

DEDICATORIA

Doy Gracias a Dios por permitirme cumplir todos estos años de estudio. A mis padres por su apoyo incondicional y a todos los que me ayudaron y estuvieron conmigo en los momentos difíciles dándome ánimos para salir a adelante

DIANA JIMENEZ NAVARRO

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A Nuestro Director GONZALO LOPEZ, por su constante colaboración y apoyo durante el desarrollo de nuestra monografía.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
LISTA DE FIGURAS	14
LISTA DE TABLAS	16
LISTA DE ANEXOS	17
GLOSARIO	18
INTRODUCCION	20
1. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	21
1.1 OBJETIVOS	21
1.1.1 Objetivos Generales	21
1.1.2 Objetivos Específicos	21
1.2 JUSTIFICACIÓN	22
2. MARCO TEORICO	23
2.1 DEFINICIÓN	24
2.2 CARACTERÍSTICAS	24
2.3 APLICACIONES	25
2.3.1 TDMoIP	26
2.3.1.1 Funcionamiento	27
2.3.1.2 TDMoIP vs. VoIP	27
2.4 FILTROS	28
2.4.1 Filtro Pasabajo	28
3. DESCRIPCION DEL CIRCUITO TDM	31
3.1 EL TRASMISOR TDM	31
3.1.1 Reloj De Referencia	32
3.1.2 El Divisor Binario	34
3.1.3 Circuito De Corte	36
3.1.4 El Multiplexor	38

	Pág
3.2 EL RECEPTOR TDM	44
3.2.1 Reloj De Referencia Del Receptor	46
3.2.2 Filtro Pasabajos de Salida	49
3.3 EXPERIMENTACIONES Y RESULTADOS	50
4. GUIA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO	53
• Practica Transmisión	57
• Practica Recepción	62
5. CONCLUSIONES	66
6. BIBLIOGRAFIA	67
7. ANEXOS	68

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Multiplexación por división de tiempo	25
Figura 2. Filtro Pasabajo Ideal	29
Figura 3. Filtro Pasabajo Real	29
Figura 4. Esquemático Transmisor TDM	31
Figura 5. Diagrama reloj TX 4060	32
Figura 6. Diagrama funcional C.I.4060	33
Figura 7. Circuito reloj de referencia	33
Figura 8. Diagrama divisor de frecuencia	34
Figura 9. Diagrama funcional CI 74LS90	35
Figura 10. Circuito divisor de frecuencia	36
Figura 11. Diagrama CI blanqueador de canales 4538	36
Figura 12. Circuito bloqueador de canales	38
Figura 13. Diagrama multiplexor 4051	39
Figura 14. Circuito del Multiplexor	41
Figura 15. Circuito del Transmisor TDM	43
Figura 16. Esquemático Receptor TDM	44
Figura 17. Amplificador adaptador de impedancia	45
Figura 18. Diagrama del PLL y configuración como demodulador.	46
Figura 19. Circuito Reloj del Receptor	47
Figura 20. Circuito Receptor TDM	48
Figura 21. Entrenador TDM	50
Figura 22. Esquema entrenador TDM.	51

	Pág.
Figura 23. Señal compuesta de salida	51
Figura 24. Señal compuesta modulando los 4 canales	52

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla de verdad para el divisor binario	35
Tabla 2. Tabla de verdad del circuito de corte	37
Tabla 3. Estados de los canales del multiplexor	40

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Datasheet lm565 (reloj demux)	81
Anexo 2. Datasheet 4060 (reloj mux)	82
Anexo 3. Datasheet 74HC4538 (bloqueador de canal)	83
Anexo 4. Datasheet 7490 (divisor binario)	84
Anexo 5. Datasheet 4051(mux y demux)	85

GLOSARIO

ACRONIMOS

FET: Field Effect Transistor (Transistor De Efecto De Campo)

MDF: Multiplexación por División de Frecuencia

MIC: Sistemas De Codificación Digital

PAM: Modulación por Amplitud de Pulso

PLL: Phase Locked Loop (Lazo de Fase cerrada)

PP: Punto de Prueba

TDM: Multiplexación Por División De Tiempo

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

TERMINOS

Aliasing: es el efecto que causa que señales continuas distintas se tornen indistinguibles cuando se les muestrea digitalmente. Cuando esto sucede, la señal original no puede ser reconstruida de forma unívoca a partir de la señal digital.

Demultiplexacion: Procedimiento aplicado a una señal multiplexada para recuperar las señales que se combinaron para formarla y restituirlas a los canales individuales correspondientes

Demultiplexor: es un circuito combinacional que tiene una entrada de información de datos d y n entradas de control que sirven para seleccionar una de las 2^n salidas, por la que ha de salir el dato que presente en la entrada. Esto se consigue aplicando a las entradas de control la combinación binaria correspondiente a la salida que se desea seleccionar

Diafonía: Ruido debido a la transferencia de una parte de la energía de la señal transmitida desde un circuito a otro.

Distorsión: Deformación sufrida por la señal en un sistema de transmisión.

Modulación: Acción de variar alguna de las características de una onda (llamada onda portadora) en función de las características de otra onda (llamada onda moduladora) cuya información se desea transmitir. La onda resultante se denomina onda modulada

Multiplexación: Procedimiento para combinar señales independientes procedentes de varios canales afluentes para su transmisión en el mismo sentido por un canal común

Multiplexor: se utiliza como dispositivo que puede recibir varias entradas y transmitir las por un medio de transmisión compartido. Para ello lo que hace es dividir el medio de transmisión en múltiples canales, para que varios nodos puedan comunicarse al mismo tiempo.

PLL: (Phase Locked Loop, Lazo de Fase Cerrada) Se trata de un sistema realimentado, en el que las magnitudes realimentadas son la frecuencia y la fase

Sincronización: Proceso de ajustar los instantes significativos correspondientes de dos señales para hacerlas sincrónicas

TDM: Método en el cual se entrelazan en el tiempo dos o más canales para su transmisión por un canal común, en forma alternada

INTRODUCCION

La Multiplexación es un sistema para la transmisión simultánea de dos o más señales sobre una portadora. En la multiplexación por división de tiempo, el tiempo entre dos pulsos de sincronización se divide en canales de operación, cada canal teniendo el mismo periodo de tiempo. El tiempo total se denomina trama, Siendo así entonces señales digitales y analógicas pueden ser insertadas en los diferentes time slots.

La señal compuesta, es decir la señal obtenida de una Multiplexación, contiene señales moduladas individualmente y pulsos sincronizados. En el receptor, los pulsos de sincronización son usados para comenzar la sincronización del proceso de decodificación para separar las señales contenidas en los time slots.

En relación con lo anterior en este escrito estaremos tratando un tipo de multiplexación mejor conocido por sus siglas como TDM, que hace referencia a multiplexación por división de tiempo.

La Multiplexación por división de tiempo es una técnica para compartir un canal de transmisión entre varios usuarios. Consiste en asignar a cada usuario, durante unas determinadas "ranuras de tiempo", la totalidad del ancho de banda disponible. Esto se logra organizando el mensaje de salida en unidades de información llamadas tramas, y asignando intervalos de tiempo fijos dentro de la trama a cada canal de entrada. De esta forma, el primer canal de la trama corresponde a la primera comunicación, el segundo a la segunda, y así sucesivamente, hasta que el n-ésimo más uno vuelva a corresponder a la primera.

Este tipo de multiplexación, en cuanto a transmisión digital se refiere, es el más utilizado hoy día.

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 **Objetivo General**

Desarrollar una visión general sobre la multiplexación por división de tiempo TDM, analizando sus características generales y principales aspectos técnicos.

1.1.2 **Objetivos Específicos**

Describir el funcionamiento básico de la tarjeta TDM y sus componentes Identificar las ventajas y desventajas de su implementación.

Brindar una visión general del tipo de multiplexación mas utilizado en el campo de las comunicaciones.

Describir los diferentes elementos que se utilizan para la experimentación con las técnicas de multiplexación TDM.

1.2 JUSTIFICACION

La Multiplexación por división de tiempo, mejor conocida por sus siglas como TDM, del inglés Time Division Multiplexing, es sin duda la técnica de multiplexación más utilizada en la actualidad, especialmente en los sistemas de transmisión digitales. En ella, la anchura de banda total del medio de transmisión es asignada a cada canal durante una fracción del tiempo total (intervalo de tiempo).

Por las razones mostradas anteriormente es importante para un ingeniero que se desempeñe en el campo de las comunicaciones conocer y manejar este tipo de multiplexación, por tal razón se desarrolló de manera práctica la tarjeta TDM para poder entender y observar de forma sencilla cómo funciona esta técnica de transmisión.

Con la tarjeta, implementada a base de circuitos integrados se pueden trabajar 4 señales diferentes donde se tendrá de forma práctica un manejo de esta técnica de multiplexación y Demultiplexación.

2. MARCO TEORICO

Las facilidades de transmisión son caras y, a menudo, dos equipos terminales de datos que se comunican por cables coaxiales, enlaces por microondas, o satélite, no utilizan la capacidad total del canal, desperdiciando parte de la anchura de banda disponible. Este problema se soluciona mediante unos equipos denominados multiplexores, que reparten el uso del medio de transmisión en varios canales independientes que permiten accesos simultáneos a los usuarios, siendo totalmente transparente a los datos transmitidos.

En un extremo, los multiplexores son equipos que reciben varias secuencias de datos de baja velocidad y las transforman en una única secuencia de datos de alta velocidad, que se transmiten hacia un lugar remoto. En dicho lugar, otro multiplexor realiza la operación inversa obteniendo de nuevo los flujos de datos de baja velocidad originales. A esta función se la denomina demultiplexar.

Dado que se efectuarán varias transmisiones distintas por la misma línea, la tasa de eficiencia del canal se ve notablemente mejorada.

Existen dos técnicas fundamentales para llevar a cabo la multiplexación:

- División de Frecuencia (MDF)
- División en el Tiempo (TDM)

Para nuestro caso particular pasamos a describir de forma detallada la multiplexación por división de tiempo.

2.1 DEFINICION

La multiplexación por división de tiempo es una técnica para compartir un canal de transmisión entre varios usuarios asignando a cada usuario, durante unas determinadas "ranuras de tiempo", la totalidad del ancho de banda disponible

2.2. CARACTERISTICAS

Como ya hemos comentado, esta técnica asigna a cada uno de los usuarios un espacio de tiempo conocidos como time slots en la totalidad del ancho de banda disponible. Esto se logra organizando el mensaje de salida en unidades de información llamadas tramas, y asignando intervalos de tiempo fijos dentro de la trama a cada canal de entrada. De esta forma, el primer canal de la trama corresponde a la primera comunicación, el segundo a la segunda, y así sucesivamente, hasta que el n-esimo más uno vuelva a corresponder a la primera en la siguiente trama.

El uso de esta técnica es posible cuando la tasa de los datos del medio de transmisión excede de la tasa de las señales digitales a transmitir. El multiplexor por división en el tiempo muestrea, o explora, cíclicamente las señales de entrada (datos de entrada) de los diferentes usuarios, y transmite las tramas a través de una única línea de comunicación de alta velocidad. Los TDM son dispositivos de señal discreta y no pueden aceptar datos analógicos directamente, sino demodulados mediante un módem.

Los TDM funcionan a nivel de bit o a nivel de carácter. En un TDM a nivel de bit, cada trama contiene un bit de cada dispositivo explorado. El TDM de caracteres manda un carácter en cada canal de la trama. El segundo es generalmente más eficiente, dado que requiere menos bits de control que un TDM de bit. La operación de muestreo debe ser lo suficientemente rápida, de forma que cada buffer sea vaciado antes de que lleguen nuevos datos.

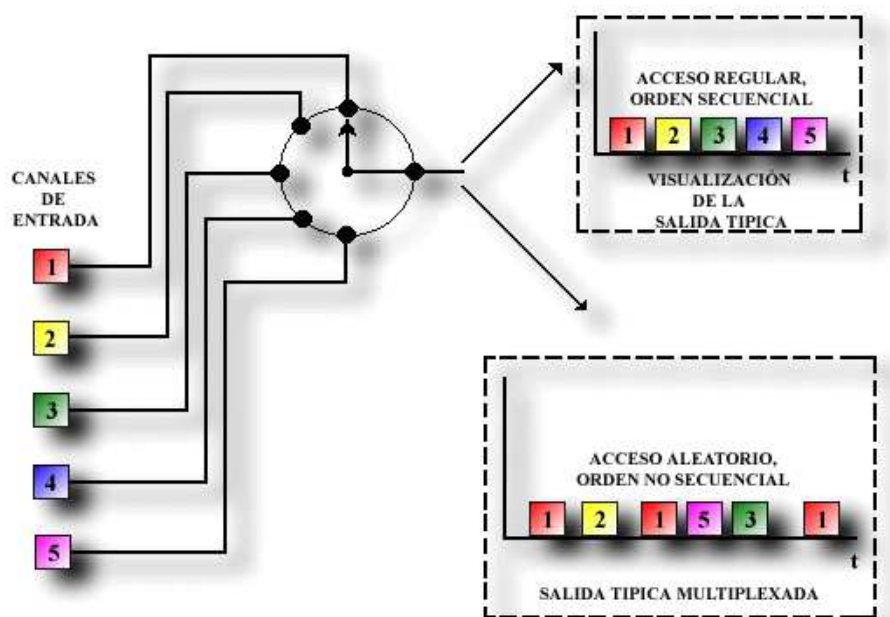


Figura 1. Multiplexación por división de tiempo

Tomado de: estudiandoconmutacion.blogspot.com

2.3 APLICACIONES

Los sistemas MIC, sistema de codificación digital, utilizan la técnica TDM para cubrir la capacidad de los medios de transmisión. La ley de formación de los sucesivos órdenes de multiplexación responde a normalizaciones de carácter internacional, con vista a facilitar las conexiones entre diversos países y la compatibilidad entre equipos procedentes de distintos fabricantes.

El UIT (unión internacional de telecomunicaciones) recomienda, como primer escalón de la jerarquía de multiplexación por división en el tiempo, 24 ó 32 (30 + 2) canales telefónicos, sistemas utilizados en Estados Unidos y Japón el primero y en Europa, el segundo. Según la recomendación G-732 del UIT, el sistema MIC primario europeo multiplexa a nivel de muestra 30 canales de voz, además de un canal de alineación y otro de señalización, formando una trama de 256 bits (32 canales, una muestra por canal y 8 bits por muestra) a una frecuencia de 8 KHz (doble

ancho de banda que el canal telefónico), de lo que resulta una velocidad de 2.048 kbps.

En los equipos múltiplex MIC secundario, terciario, etc., se lleva a cabo una multiplexación en el tiempo (TDM) por entrelazado de impulsos (bit a bit) a diferencia de los equipos MIC primarios.

El UIT ha recomendado cuatro jerarquías de multiplexación para equipos MIC. El equipo múltiplex digital que combina las señales de salida de cuatro equipos múltiplex primarios MIC se denomina equipo múltiplex digital de segundo orden. Los equipos múltiplex digitales de tercer orden combinarían las señales de salida de cuatro equipos múltiplex de segundo orden, etc.

Así, el segundo nivel de multiplexación acepta cuatro señales digitales a 2.048 kbps para formar una señal a 8.448 kbps. El tercer nivel agrupa cuatro señales de 8.448 kbps en una de 34.368 kbps. El cuarto nivel agrupa cuatro señales de nivel tres en una señal de 13.9264 kbps. Por último, en la misma proporción, el quinto nivel produce una señal de 565 Mbps.

2.3.1 Multiplexación por división del tiempo sobre Protocolo Internet (TDMoIP)

La multiplexación por División del Tiempo sobre Protocolo Internet (TDMoIP) es una tecnología de transporte que amplía las aplicaciones tradicionales de voz, datos y video de forma transparente sobre infraestructuras de red IP o Ethernet.

Para aplicaciones de voz, video y datos tenemos que TDMoIP:

- Soporta PBX tradicionales (incluyendo sus funciones propietarias)
- Soporta cualquier señalización (incluyendo RDSI, Q.SIG y SS7) además de todas las velocidades de modem y fax.
- Soporta muchos protocolos de comunicación - ATM, Frame Relay, HDLC, RDSI, SNA, SS7, Sinc/Asinc y X.25.

- Para transmisión de video, TDMoIP soporta los servicios H.320 (PRI) y H.324 (BRI).

Además de su versatilidad, TDMoIP es más sencillo y menos costoso que la Voz sobre IP (VoIP). En breve, TDMoIP será ideal para aplicaciones empresariales y de proveedores de servicios en telecomunicaciones.

2.3.1.1 Como funciona el TDMoIP?

Las gateways para TDMoIP tales como los multiplexores IP de Black Box, primero reciben una trama de datos en sus interfaces T1/E1 o de voz analógicas. Allí las tramas son cortadas en paquetes de tamaño fijo y se les asigna una cabecera IP. Luego los paquetes son transmitidos sobre la red IP hacia la gateway del extremo receptor. La gateway receptora reconstruye la trama de datos original, quitando la cabecera IP, concatenando los paquetes y regenerando los relojes. Luego la trama es traspasada a su destino, donde es entregada a la interface estándar T1/E1 o de voz analógica.

2.3.1.2 TDMoIP vs. VoIP

Tanto el TDMoIP como la VoIP, ambas ofrecen convergencia, lo cual es la combinación de dos o más disciplinas o tecnologías dispares (como el envío de voz y datos dentro de una única red). Pero hay diferencias que otorgan ventajas al TDMoIP.

El TDMoIP utiliza tecnologías estándar maduras, como T1/E1 e IP. La VoIP se mueve alrededor de nuevos y emergentes protocolos, tales como H.323, MGCP y SIP. Durante el tiempo que una equipo de IT aprende un grupo de protocolos nuevos, se tiene que invertir más dinero, para que puedan además aprender el siguiente grupo de normas.

El TDMoIP le permite utilizar las PBX existentes a diferencia de la VoIP que requiere el gasto de actualizar todas las PBX, causando posibles interrupciones en la operación de la empresa. Además debido a que el TDMoIP es transparente a la señalización y protocolos, no tendrá que manejar tiempos de traspaso entre los formatos de señalización como lo haría con la VoIP.

Con el TDMoIP, el tamaño de los paquetes es configurable, a diferencia de VoIP, que depende de los "codecs" los cuales a su vez incluyen más retardos a cada sesión de voz.

El TDMoIP y la VoIP proporcionan convergencia para reducir los costos de administración, cableado y hardware. Sin embargo, la VoIP es más compleja para aplicaciones de conmutación de voz, en donde el TDMoIP tiene un papel mucho más importante debido a que transporta cualquier señal de voz, video y datos basados en TDM sobre IP, lo cual protege sus inversiones.

2.4 FILTROS

Los filtros son redes que permiten el paso o detienen el paso de un determinado grupo de frecuencias (banda de frecuencias).

En estos filtros una de sus principales características es su frecuencia de corte, que delimita el grupo de las frecuencias que pasan o no pasan por el filtro, en este trabajo se hizo necesario el uso de filtros paso bajo por esta razón se hace necesario explicar este tipo de filtros.

2.4.1 Filtro Paso Bajo

Un filtro paso bajo RC es un circuito formado por una resistencia y un condensador conectados en serie de manera que este permite solamente el paso de frecuencias por debajo de una frecuencia en particular llamada frecuencia de corte (F_c) y elimina las frecuencias por encima de esta frecuencia.

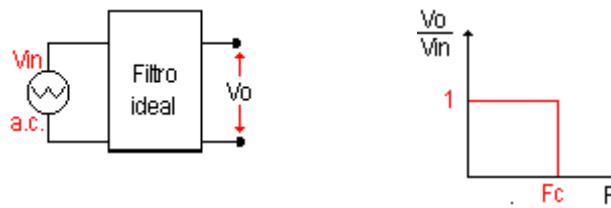


Figura 2. Filtro Pasabajo Ideal

El filtro paso bajo ideal es un circuito formado por una resistencia y un condensador, que permite el paso de las frecuencias por debajo de la frecuencia de corte (F_c) y elimina las que sean superiores a ésta.

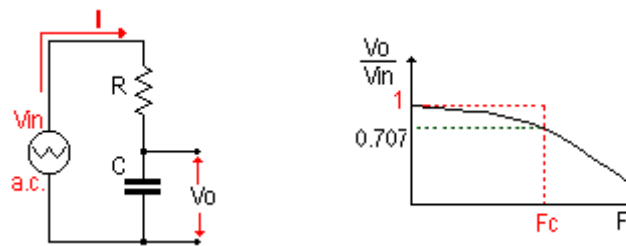


Figura 3. Filtro Pasabajo Real

La reactancia capacitiva cambia con la frecuencia. Para altas frecuencias X_C es baja logrando con esto que las señales de estas frecuencias sean atenuadas. En cambio a bajas frecuencias (por debajo de la frecuencia de corte) la reactancia capacitiva es grande, lo que causa que estas frecuencias no se vean afectadas o son afectadas muy poco por el filtro.

Con la ley de ohm

- $V_{in} = I \times Z = I \times (R^2 + X_C^2)^{1/2}$
- $V_o = I \times X_C$
- $V_o = V_{in} / (1 + (2 \times \pi \times RC)^2)^{1/2}$

La frecuencia de corte es aquella donde la amplitud de la señal entrante cae hasta un 70.7 % de su valor máximo. Y esto ocurre cuando

$$XC = R. \text{ (reactancia capacitiva = resistencia)}$$

Si $XC = R$, la frecuencia de corte será: $F_c = 1 / (2 \times \pi \times RC)$

La banda de frecuencias por debajo de la frecuencia de corte se llama Banda de paso, y la banda de frecuencias por encima de F_c se llama Banda de atenuación

3. DESCRIPCION DEL CIRCUITO TDM

3.1 EL TRANSMISOR TDM

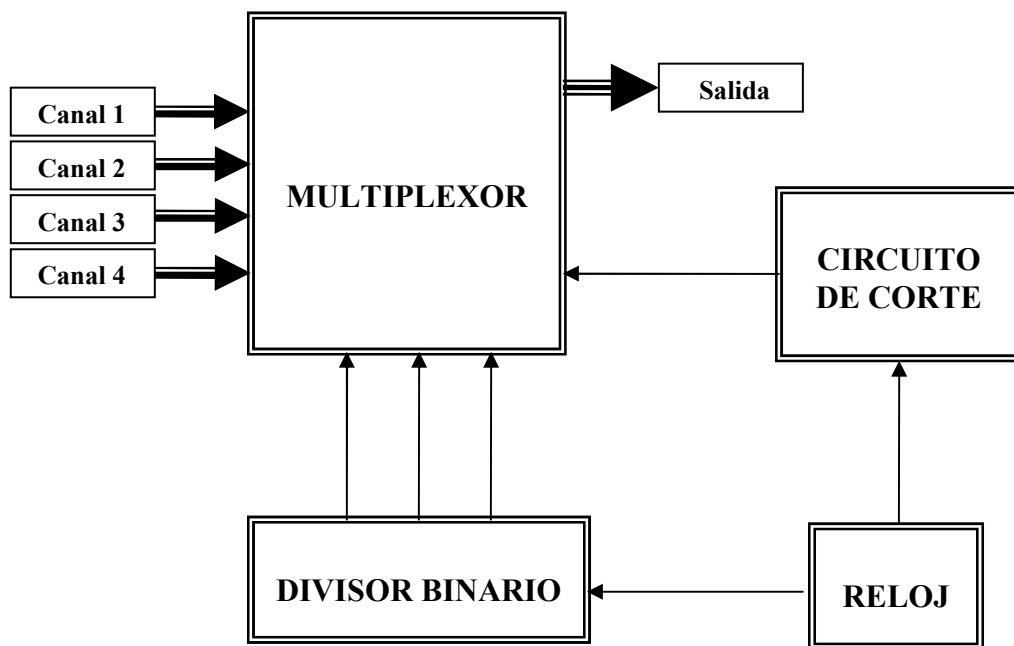


Figura 4. Esquemático Transmisor TDM

En la figura 4 se observa el diagrama en bloques del transmisor TDM utilizado para esta aplicación. El prototipo consta de varias secciones las cuales corresponden a las unidades funcionales para la aplicación. Estas secciones son las siguientes:

1. Reloj de sincronismo
2. Divisor de frecuencia
3. Circuito de corte
4. Multiplexor

La señal de salida compuesta, consiste en pulsos de sincronización y señales análogas moduladas por amplitud de pulso (PAM). El periodo entre los pulsos de sincronización es estabilizado por el reloj. El periodo entre el inicio del pulso de sincronización y el final del último canal es llamado trama.

3.1.1 RELOJ DE REFERENCIA

En esta aplicación TDM para manejar la parte de sincronismo se utiliza el circuito integrado 4060. En la figura 5 podemos observar su configuración. Este funciona como oscilador y divisor de frecuencia a la vez.

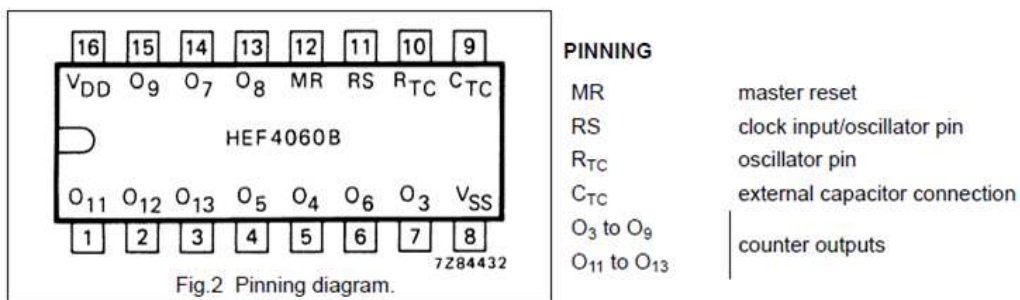


Figura 5. Diagrama reloj TX 4060

Para nuestras necesidades se conecta al C.I. un oscilador de cristal de cuarzo, realizando entonces el dispositivo divisiones de frecuencia. El C.I. nos produce una frecuencia de salida de 187.500 KHz. Esta frecuencia, se genera debido a que La frecuencia del oscilador de cristal es de un valor de (6 MHz), la cual es dividida internamente en el C.I. en cada una de las salidas Q_x del C.I. en divisiones por dos tal como se observa en la figura 6:

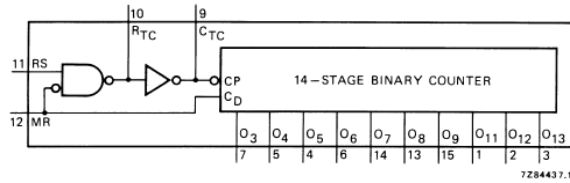


Figura 6 diagrama funcional C.I.4060

La salida Q5 es la utilizada en el transmisor TDM, Donde tenemos que los 6 Mhz. Son divididos por 32. Obteniendo entonces

$$f = \frac{6\text{MHZ}}{32} = 187.5\text{KHz}$$

Esta salida alimenta tanto al circuito de corte como al contador binario. El periodo de un time slot de acuerdo a la ecuación general de frecuencia es entonces:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{187.500\text{KHz}} = 5.3\mu\text{s}$$

A continuación se presenta el circuito configurado para nuestra aplicación.

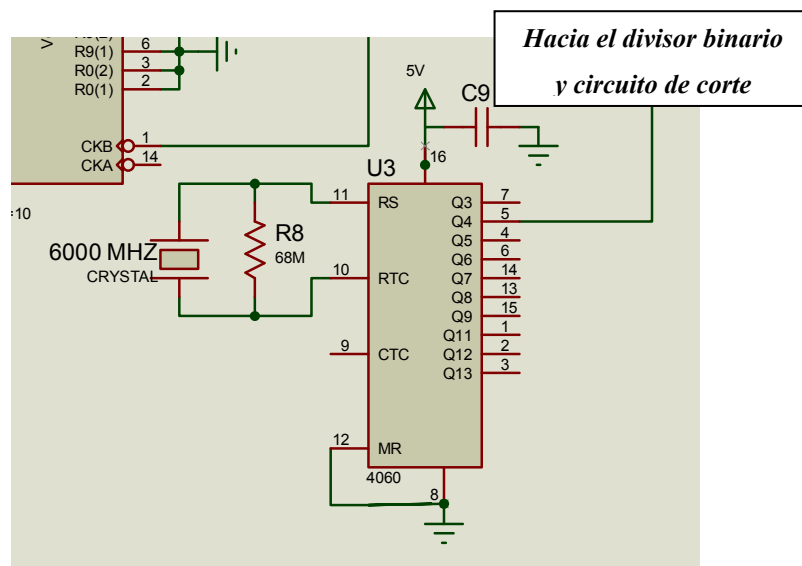


Figura 7. Circuito reloj de referencia

3.1.2 EL DIVISOR BINARIO

El integrado seleccionado para esta aplicación es el CI. 7490, el cual se puede observar en la grafica 8.

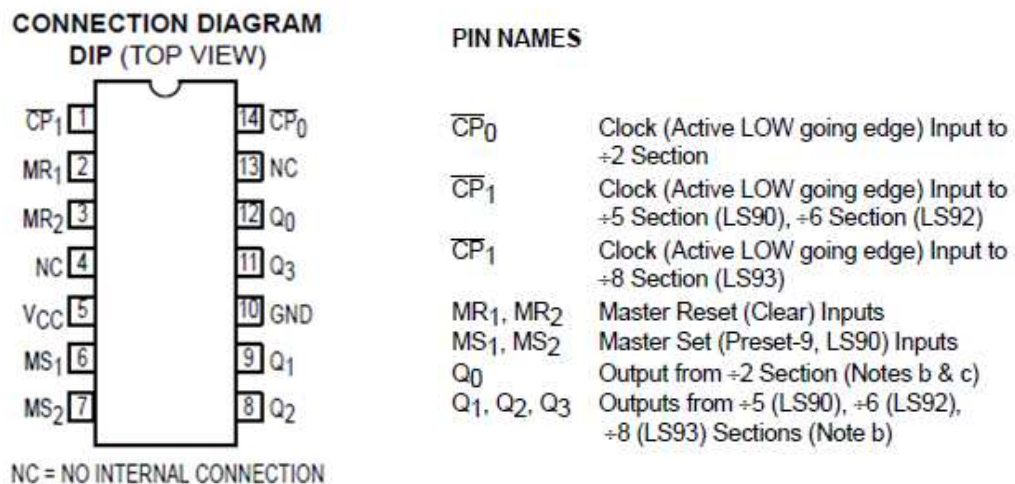


Figura 8. Diagrama divisor de frecuencia

Este C.I funciona como contador, tiene una capacidad de 4-bit. Este integrado además de lo anterior funciona como contador de décadas de ondulación, EL cual contiene cuatro flip-flops maestro-esclavo, internamente conectados para proveer una división por dos y una división por cinco. Tal como se observa en la figura 9.

Deacuerdo a la gráfica de la figura 9, este CI cumple con lo mostrado en la tabla 1, la cual es una tabla de verdad para realizar las debidas habilitaciones de cada canal

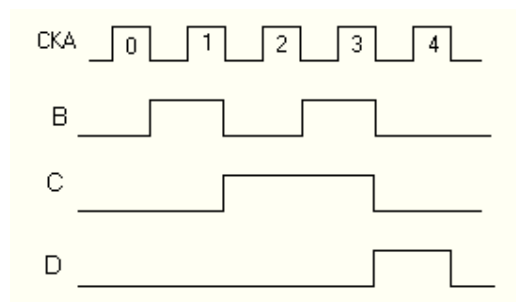
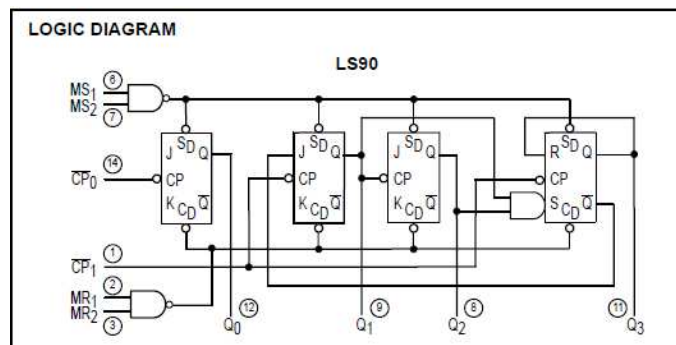


Figura 9. Diagrama funcional CI 74ls90

TRUTH TABLE

CONTROL INPUTS				"ON" CHANNEL		
INHIBIT	C△	B	A	TC4051B	TC4052B	TC4053B
L	L	L	L	0	0X, 0Y	0X, 0Y, 0Z
L	L	L	H	1	1X, 1Y	1X, 0Y, 0Z
L	L	H	L	2	2X, 2Y	0X, 1Y, 0Z
L	L	H	H	3	3X, 3Y	1X, 1Y, 0Z
L	H	L	L	4	—	0X, 0Y, 1Z
L	H	L	H	5	—	1X, 0Y, 1Z
L	H	H	L	6	—	0X, 1Y, 1Z
L	H	H	H	7	—	1X, 1Y, 1Z
H	*	*	*	NONE	NONE	NONE

Tabla 1. Tabla de verdad para el divisor binario

A continuación se tiene la grafica de la configuración del circuito divisor.

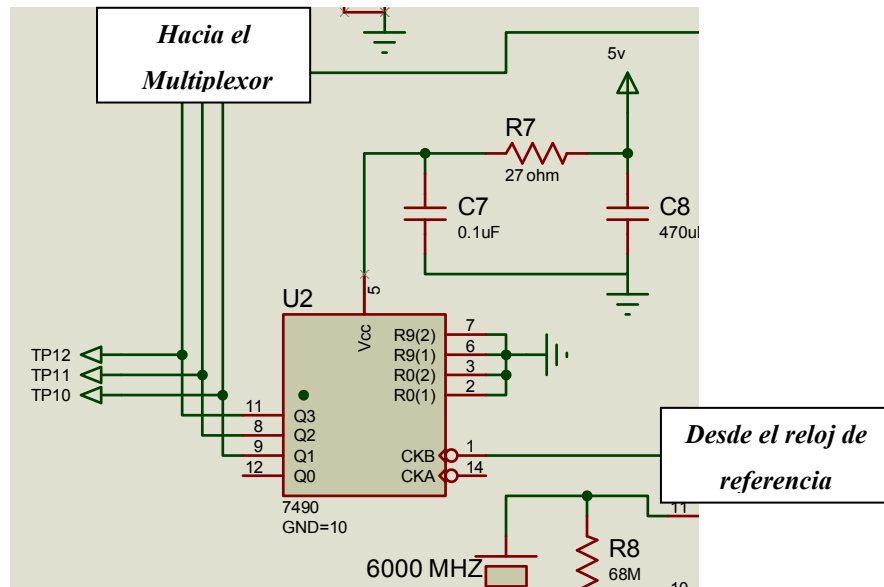


Figura 10. Circuito divisor de frecuencia

3.1.3 CIRCUITO DE CORTE

Con el fin de reducir la diafonía entre los canales multiplexados por división de tiempo, el circuito “CHANNEL BLANKER” (Circuito de Corte), cuyo elemento principal es el C.I. 74HC4538, el cual se observa en la figura 11.

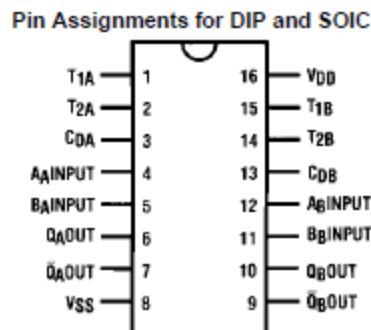






Figura 11. Diagrama CI blanqueador de canales 4538

Este elemento genera un tren de pulsos estrechos, cinco por trama, los cuales son aplicados a las entradas inhabilitadas del multiplexor. Por medio de un potenciómetro en el circuito del integrado se varia el ancho de pulso de la salida, lo cual permite definir que tanto tiempo queremos que se deshabilite el multiplexor para evitar la diafonía.

Estos pulsos pueden ser examinados en el pin 10 del integrado y se rigen por la siguiente tabla de verdad.

Truth Table

Inputs			Outputs	
Clear	A	B	Q	\bar{Q}
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	L	↓		
H	↑	H		



H = HIGH Level
 L = LOW Level
 ↑ = Transition from LOW-to-HIGH
 ↓ = Transition from HIGH-to-LOW
 = One HIGH Level Pulse
 = One LOW Level Pulse
 X = Irrelevant

Tabla 2. Tabla de verdad del circuito de corte

A continuación se observa la configuración el elemento para las funciones deseadas:

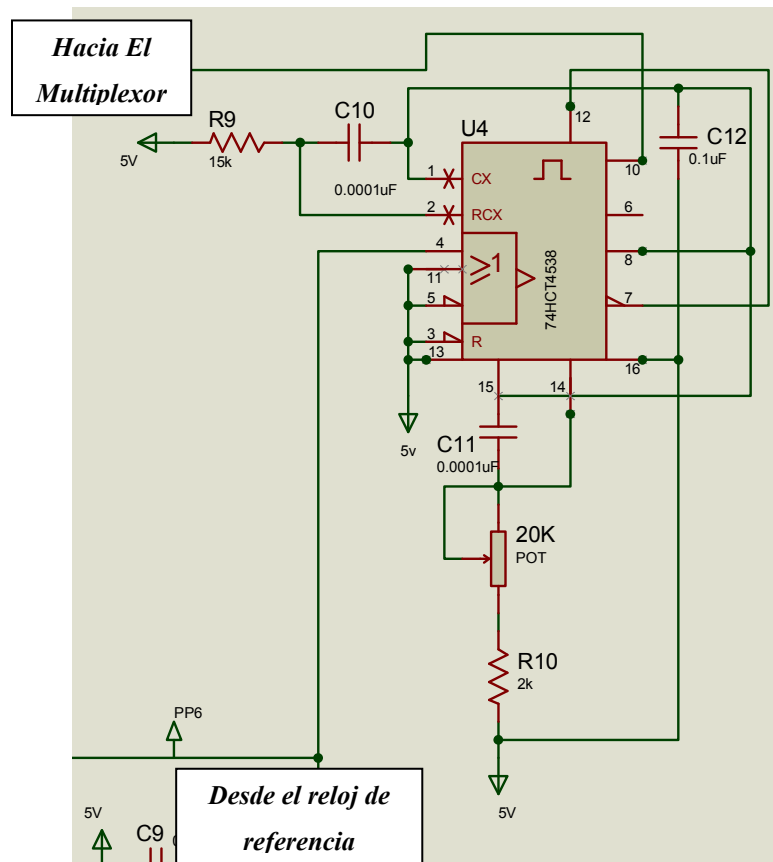


Figura 12. Circuito blanqueador de canales

3.1.4 EL MULTIPLEXOR

El multiplexor mostrado en la figura 4 cuyo elemento principal es el C.I. 4051, es una unidad de conmutación FET de 8 canales. Tres de los canales no están en uso y van a tierra. Cuatro canales están provistos con señales análogas y el quinto canal, ubicado en el pin 1 esta suministrado con +5 volts para crear el pulso de sincronismo positivo.

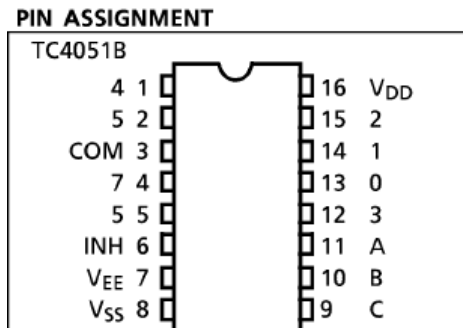


Figura 13. Diagrama multiplexor 4051

Los canales son encendidos individualmente por los voltajes de control aplicados a los terminales A, B y C, los cuales corresponden a los pines 11, 10 y 9 respectivamente.

Internamente, cada canal de conmutación se enciende aplicándole un voltaje positivo en la compuerta de cada FET. En el estado de encendido (“On”), la resistencia interna es aproximadamente de $100\ \Omega$. En el estado de apagado (“off”), la resistencia del conmutador FET es de aproximadamente $1 \times 10^{12}\ \Omega$. Un solo pulso de la entrada A enciende el canal 1. Cuando la entrada de control B es encendida, el canal 2 conduce, y cuando ambos A y B ven voltaje de control positivo, el canal 3 conduce. De esta manera, el multiplexor conmuta a través de cinco canales, uno a la vez. Dos canales no pueden estar encendidos al mismo tiempo. La salida del multiplexor aparece en el pin 3 (PP5). La forma de onda de este punto de prueba es la señal compuesta de todas las entradas.

La tabla de verdad para el multiplexor es mostrada en la tabla 3. Note que la distribución de los canales en correspondencia con los pines del integrado es la siguiente:

- Canal 1 - pin 13
- Canal 2 - pin 14
- Canal 3 - pin 15

Cuando el canal 5 es accionado, los 5 voltios se aplican al pin 1, lo cual provoca que la salida vaya a alta para el periodo del reloj, y esto produce el pulso de curso positivo. El pulso sincronizado de curso positivo es usado en el receptor para sincronizar el reloj del circuito de fase cerrada. Otro C.I. el 4051 es usado en el receptor como demultiplexor.

ESTADOS DE LAS ENTRADAS				CANALES "ON"
INHIBIT	C	B	A	
4061				
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	X	X	X	NONE
4062				
INHIBIT	B	A		
0	0	0	0x, 0y	
0	0	1	1x, 1y	
0	1	0	2x, 2y	
0	1	1	3x, 3y	
1	X	X	NONE	
4053				
INHIBIT	A ó B ó C			
0	0		Ax ó bx ó cx	
0	1		Ay ó by ó cy	
1	X		NONE	

Tabla 3. Estados de los canales del multiplexor

A continuación se presenta la configuración final del circuito para esta aplicación:

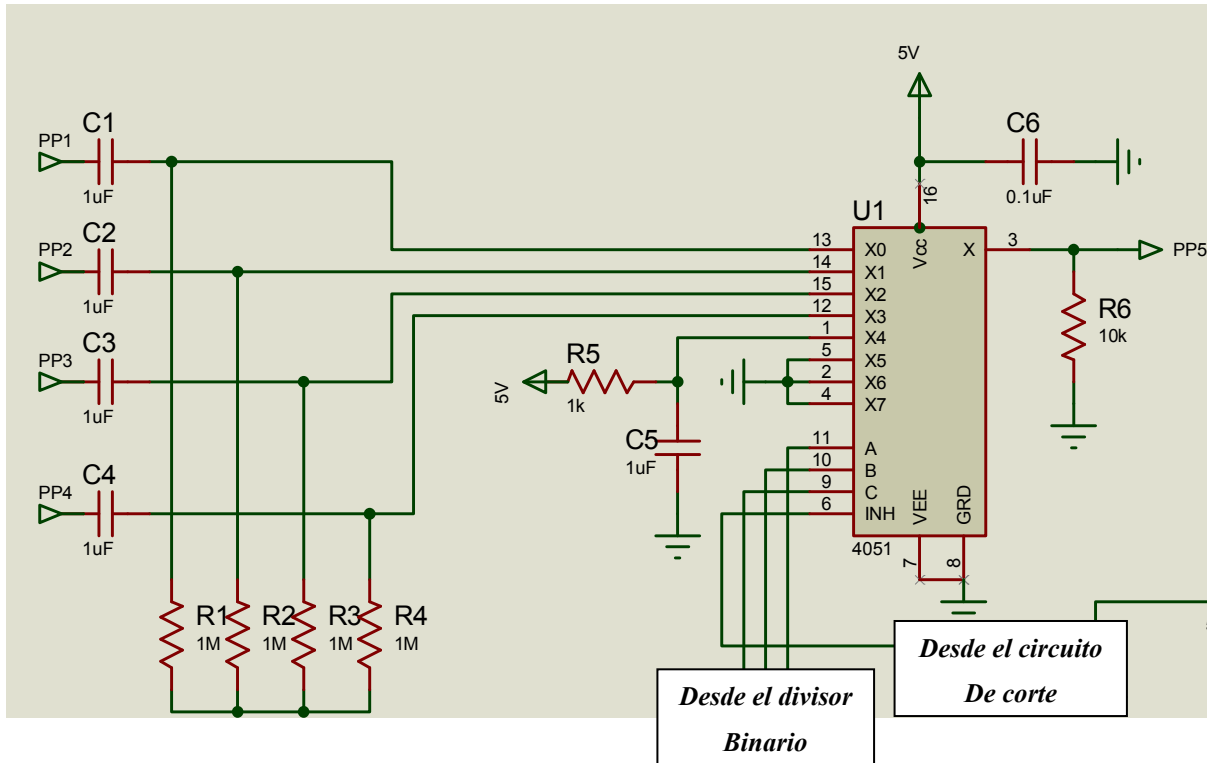


Figura 14. Circuito del Multiplexor

Las cuatro entradas al multiplexor son parejas de elementos RC de modo que el voltaje DC externo no puede ser aplicado. Las constantes de tiempo largo del circuito de entrada habilitan el dispositivo para ser usado en frecuencias muy bajas. El circuito de corte provee un pulso negativo para la entrada inhabilitada del multiplexor (pin 6) para un periodo de aproximadamente 0.8 microsegundos. El pulso negativo apaga el multiplexor entre canales y así reduce la diafonía. Si la salida AC del generador de corte (74HC4538) se conecta a tierra conectando un condensador de gran capacitancia, asumiéndolo entre los 100-200 µF, entre el pin 6 (PP7) y tierra, el periodo entre dos canales adjuntos se reduce a cero.

La máxima frecuencia que puede ser pasada a través del multiplexor es determinada por la tasa de muestreo. La tasa de muestreo debe ser por lo menos dos veces la señal

más alta en concordancia con la ley de Nyquist para evitar fenómenos de aliasing. Por lo tanto, para pasar una señal de 4 KHz, la tasa de muestreo debe ser por lo menos 8 KHz.

En el transmisor TDM, los canales son alimentados directamente al multiplexor, por lo tanto, la tasa de muestreo es la misma que la tasa de Multiplexación. Ya que el tiempo entre dos ocurrencias del mismo canal es 26 us, la tasa de muestreo es $1/26$ us o aproximadamente 38.46 KHz. Esto es más que suficiente para la reproducción muestreada y exacta de música de alta fidelidad.

El circuito experimental utilizado para la Multiplexación es el que se muestra en la figura 15.

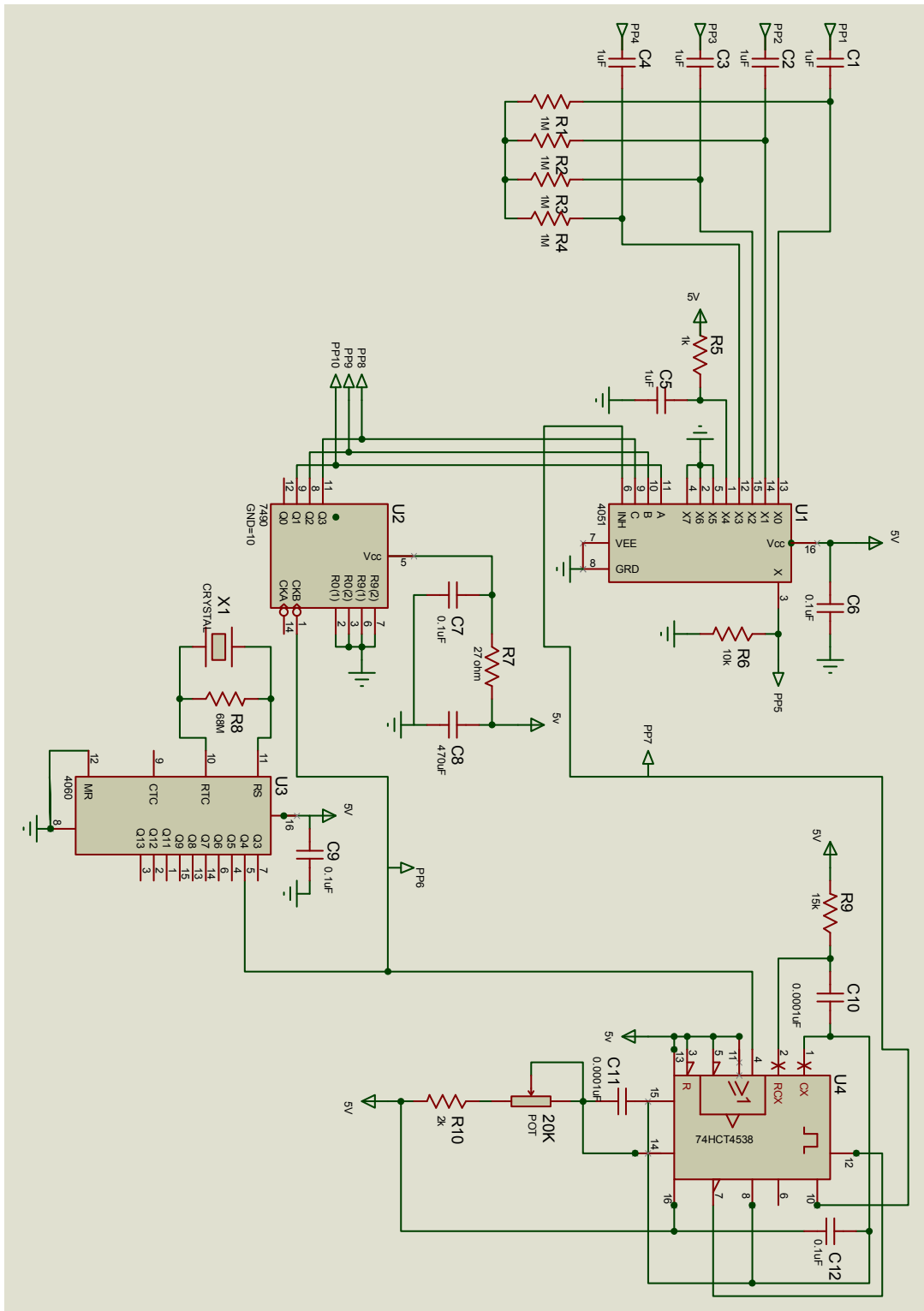


Figura 15. Circuito del Transmisor TDM

3.2 EL RECEPTOR TDM

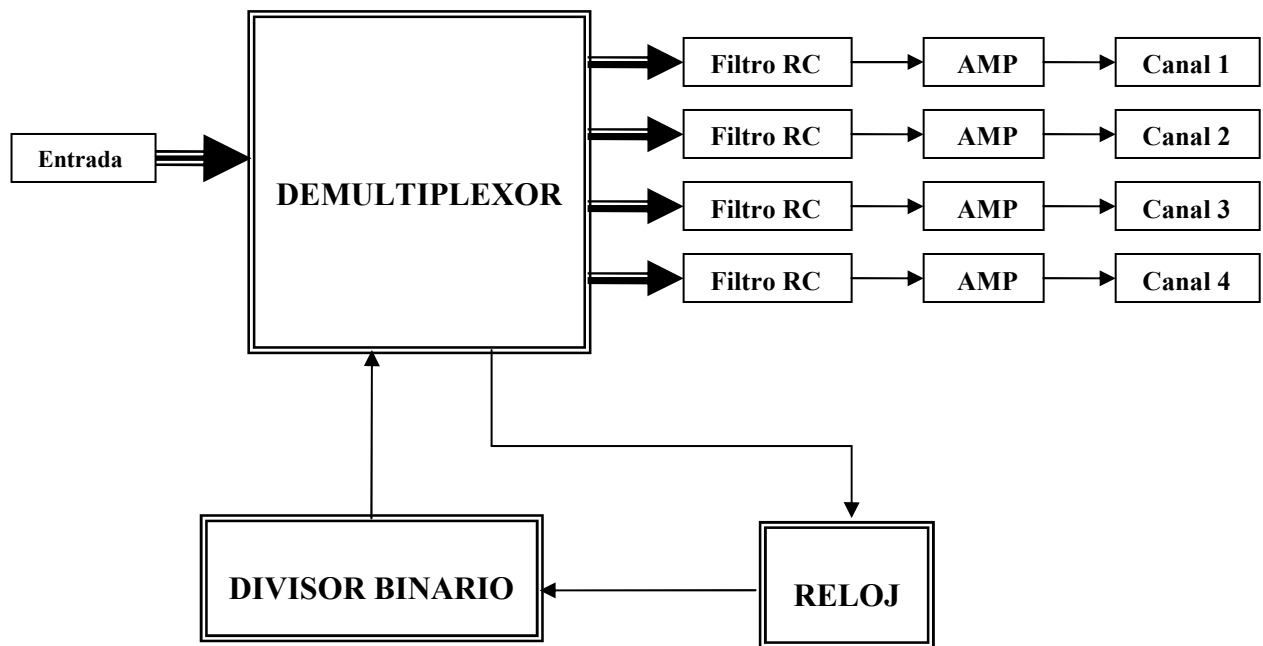


Figura 16. Esquemático Receptor TDM

En la figura 16 se observa el diagrama en bloques del receptor TDM utilizado para esta aplicación. El prototipo consta de varias secciones las cuales corresponden a las unidades funcionales para la aplicación. Estas secciones son las siguientes:

1. Demultiplexor
2. divisor de frecuencia
3. reloj de sincronismo
4. filtro pasabajos

El contador decimal que ya describimos en el transmisor provee un contador de 1 a 5. Unos Pulsos positivos se aplican a tres entradas controladas en los pines 9, 10 y 11, y estos controles son los que encienden los canales. Los tres canales que no están en uso son conectados a tierra. El multiplexor tiene 4 entradas que viene de 4 fuentes de señales diferentes. En el caso del demultiplexor, el circuito integrado se usa en dirección inversa, con la entrada aplicada el pin 3 y las salidas tomadas desde los diferentes canales disponibles. Cabe recordar que los FET's internamente, cuando se enciende parecen una resistencia de 100 ohm entre el pin 3 y cualquiera de los otros terminales como el pin 12, 13, 14 y 15. Las entradas del circuito del demux que no son utilizadas son conectadas a tierra. Esto se puede observar en la grafica 17. La salida pin 1, canal 5, sirve junto con el PLL, como circuito de reloj. La referencia de curso positivo del pulso sincronizado se obtiene de esta salida y es usado para sincronizar el reloj receptor y el reloj transmisor.

3.2.1 RELOJ DE REFERENCIA DEL RECEPTOR

El elemento principal para la sincronización del receptor es un LM565, un dispositivo PLL. Si configuración se puede observar en la grafica 18.

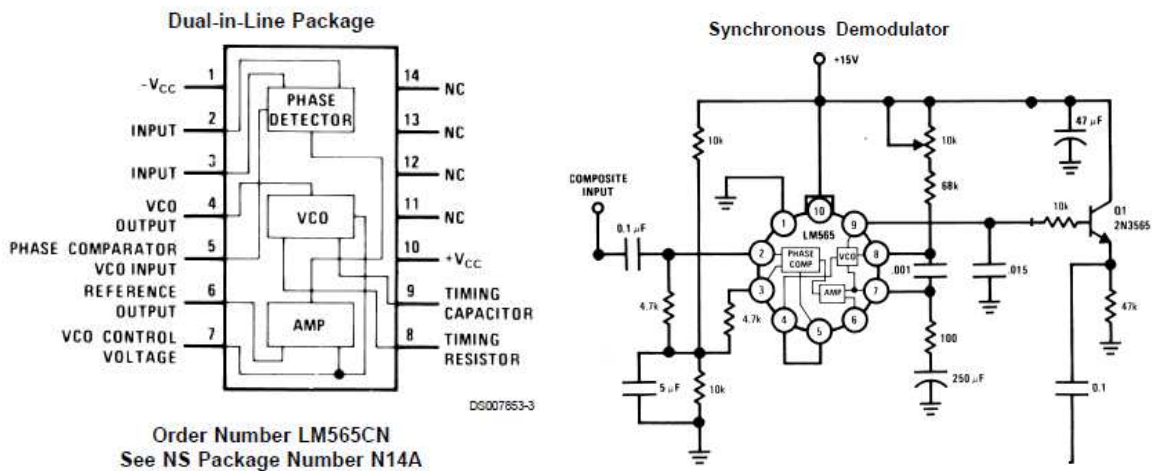


Figura 18. Diagrama del PLL y configuración como demodulador.

La frecuencia del oscilador se bloquea cuando se ingresa la tasa de pulso. El reloj oscilador es de aproximadamente 208 KHz, y su frecuencia es ajustable por un potenciómetro de 5 K Ω . Los componentes de sincronización son: el capacitor en el pin 9 y las resistencias en el pin 8 (R17 y el potenciómetro). La salida del reloj se acopla a través de un emisor seguidor (2N3904) a la entrada del contador decimal. Este transistor evita que el contador decimal se cargue desde el circuito oscilador.

Las cuatro salidas del circuito demultiplexor contienen señales el cual solo tienen picos cortados superpuestos desde el circuito demultiplexor. A continuación se puede observar la configuración del PLL para esta aplicación

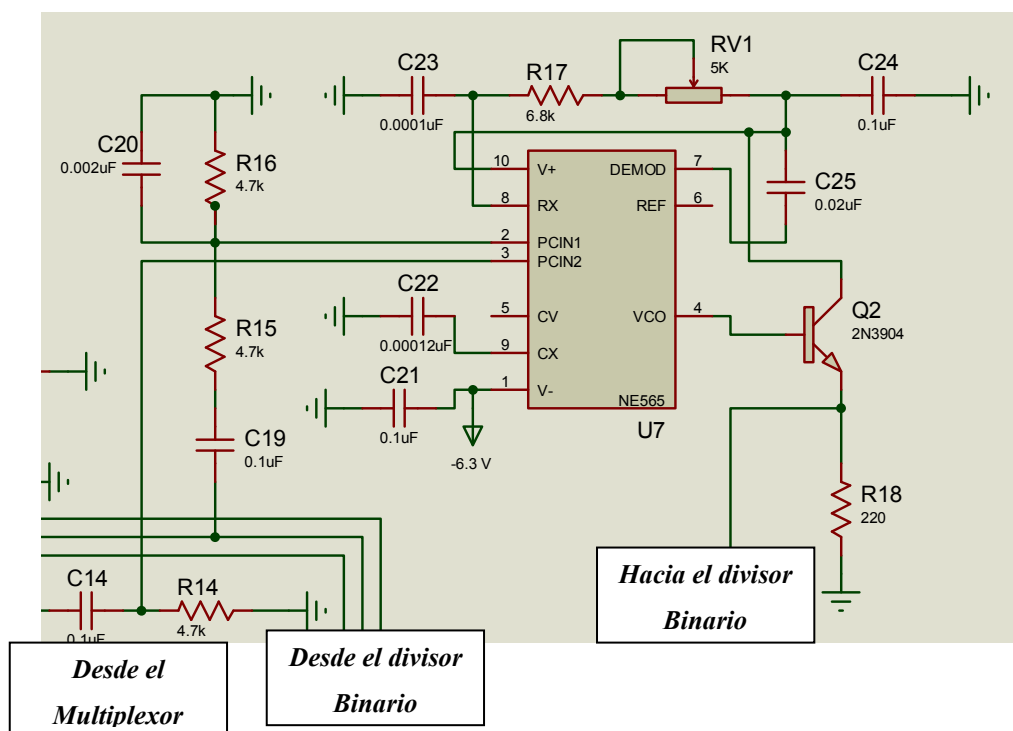


Figura 19. Circuito Reloj del Receptor

El circuito experimental final utilizado para la demultiplexación es el que se muestra en la figura 20.

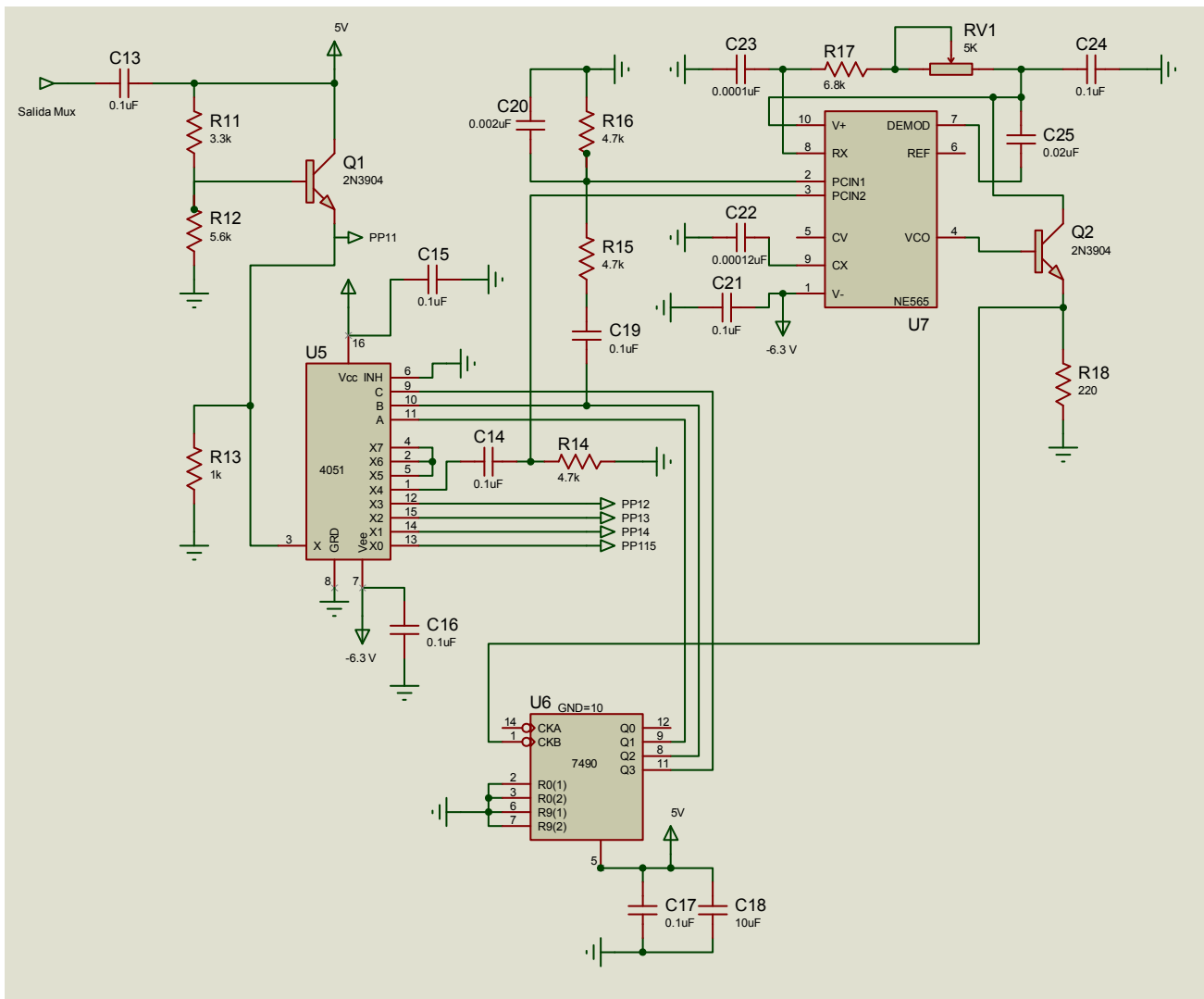


Figura 20. Circuito Receptor TDM

3.2.2 FILTRO PASABAJOS DE SALIDA

El cálculo de la frecuencia de corte del filtro se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Para la implementación de la práctica se decidió no utilizar señales mayores de 3KHz, dado que las señales de voz son trabajadas en las comunicaciones con un valor de 4KHz, por tanto, se definió la frecuencia de corte con este valor. Siendo así, al escoger un capacitor de 10nF, tenemos que la resistencia para lograr esta frecuencia de corte en el filtro es de :

$$R = \frac{1}{2(3.1416)(3\text{KHz})(10\text{nF})} = 5.3\text{K}$$

Se escogió el valor comercial por debajo que es 5.1KΩ ya que al disminuir la resistencia aumenta un poco la frecuencia de corte.

3.3 EXPERIMENTACIONES Y RESULTADOS

A continuación se muestra El entrenador TDM implementado y cada una de sus partes:

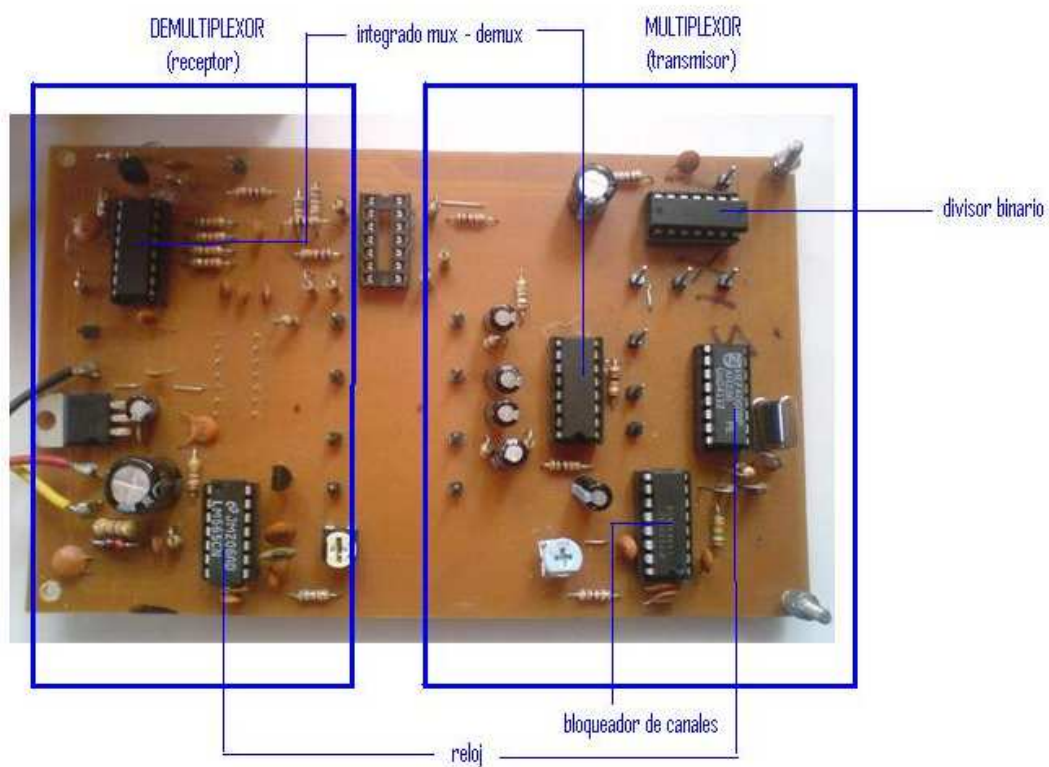


Figura 21. Entrenador TDM

Las disposiciones de los pines de conexión de cada una de las señales de medición se observa en la figura 22.

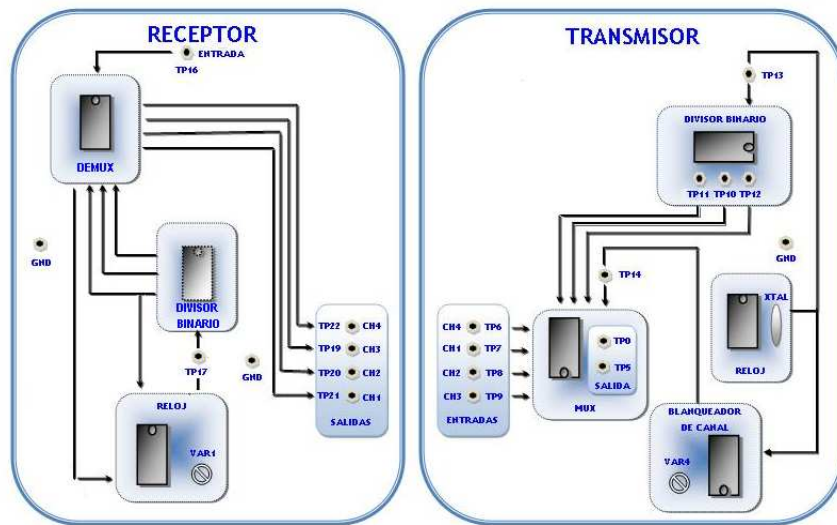


Figura 22. Esquema entrenador TDM.

La señal de salida del multiplexor (observada en la figura 23) a la cual llamamos señal compuesta, consiste en pulsos de sincronización y señales análogas moduladas por amplitud de pulso (PAM). El periodo entre los pulsos de sincronización es estabilizado por el reloj, el cual corresponde a la duración del pulso de sincronismo y a cada uno de los canales de voz. El periodo entre el inicio del pulso de sincronización y el final del último canal es a lo que llamamos trama.

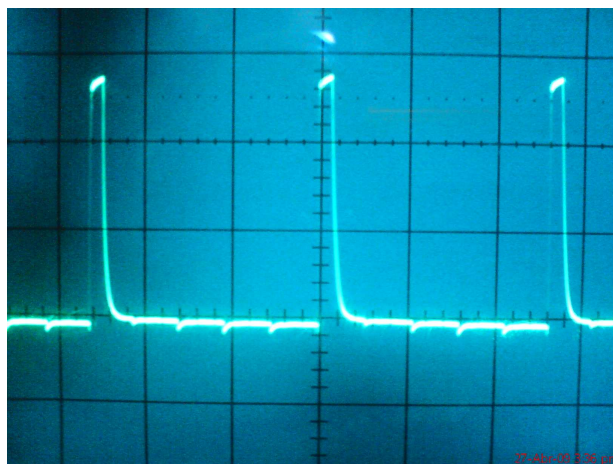


Figura 23. Señal compuesta de salida

Al conectar cada una de las señales de entrada en los canales del transmisor, se observara la señal compuesta tal como se muestra en la figura 24.

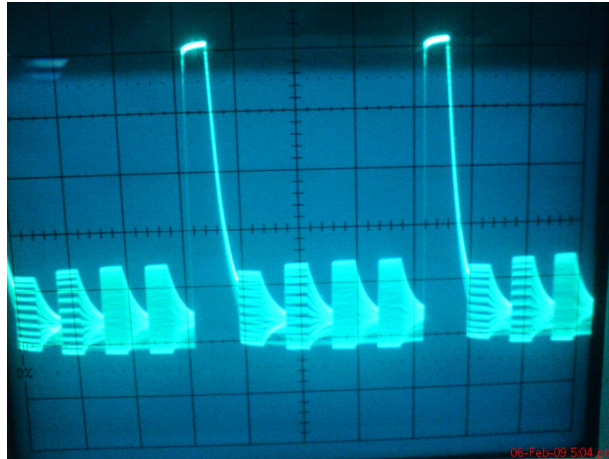


Figura 24. Señal compuesta modulando los 4 canales

3.3.1 Experiencias En La Elaboración Del Prototipo

De acuerdo a lo observado en el documento, en especial en la parte de la elaboración del prototipo, podemos darnos cuenta que desarrollar esta técnica de comunicaciones no es nada sencillo partiendo desde el hecho que este es un sistema completamente sincronizado y el éxito de los resultados depende de este factor.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que en comparación con otras técnicas de transmisión y modulación, esta técnica cuenta con un tratamiento de varias señales de información, a diferencia tal vez de una modulación AM donde se tiene una señal de información. La técnica aquí planteada trabaja con cuatro señales de información las cuales deben ser recuperadas en su totalidad en el receptor.



MINOR EN TELECOMUNICACIONES

GUIA DE LABORATORIO PARA ESTUDIANTES MULTIPLEXACION POR DIVISION DE TIEMPO TRANSMISION RECEPCION

José Gabriel Del Villar Barón

Diana Margarita Jiménez Navarro

Mauricio David Ganem López

Integrantes

MULTIPLEXACION POR DIVISION EN EL TIEMPO (TDM)

Duración: 1 horas Número de prácticas: 2 (TRANSMISION Y RECEPCION)

Introducción

La **Multiplexación por división de tiempo (TDM)**, del inglés *Time Division Multiplexing*, es el tipo de Multiplexación más utilizado en la actualidad, especialmente en los sistemas de transmisión digitales. En ella, el ancho de banda total del medio de transmisión es asignado a cada canal durante una fracción del tiempo total (intervalo de tiempo).

1. Objeto de estudio

En esta experiencia de laboratorio, el estudiante empezara a familiarizarse con la modulación por división de tiempo, mejor conocida por sus siglas TDM.

2. Objetivos

Al terminar el estudio del laboratorio y la experimentación, el estudiante será capaz de:

- Describir como los circuitos integrados (C.I.) son usados para transmitir señales multiplexadas.

- Describir la operación básica del sistema de multiplexación por división de tiempo.
- Describir como los contadores/divisores digitales son usados para seleccionar un canal multiplexado específico.

Libros de consulta

- Sistemas de telecomunicaciones electrónicas, Tomasi, Prentice Hall, 4 edición, cap16.
- Tecnologías de redes de transmisión de datos, Enrique Herrera, Limusa Noriega Editores, 2003

3. Equipos

- Osciloscopio de 35Mhz
- Generador de señales de 7Mhz (2)
- Multímetro digital FLUKE
- Equipo TDM (entrenador)

4. Marco teórico

La Multiplexación por división de tiempo (TDM) es un método que se utiliza para combinar varias señales muestreadas en determinadas secuencias de tiempo, con el fin de transmitir información hacia varios destinos utilizando el mismo medio.

En la figura 1 se representa de una forma esquematizada y simple, un conjunto multiplexor/ demultiplexor para ilustrar como se realiza la Multiplexación - demultiplexación por división de tiempo.

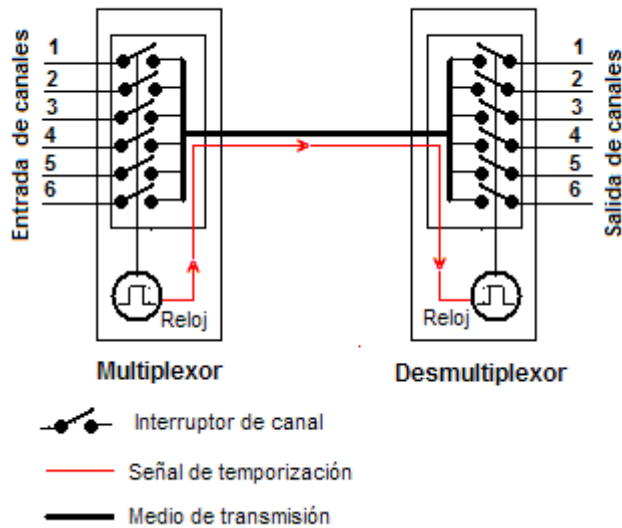


Figura 1.- Conjunto multiplexor-demultiplexor por división de tiempo

En este circuito, las entradas de seis canales llegan a los denominados interruptores de canal, los cuales se cierran de forma secuencial, controlados por una señal de reloj, de manera que cada canal es conectado al medio de transmisión durante un tiempo determinado por la duración de los impulsos de reloj.

En el extremo distante, el demultiplexor realiza la función inversa, esto es, conecta el medio de transmisión, secuencialmente, con la salida de cada uno de los seis canales mediante interruptores controlados por el reloj del demultiplexor. Este reloj del extremo receptor funciona de forma sincronizada con el del multiplexor del extremo emisor mediante señales de temporización que son transmitidas a través del propio medio de transmisión o por un camino.

- **MULTIPLEXACION POR DIVISION EN EL TIEMPO (TDM)**

Transmisión

5. Procedimiento:

En primera medida conecte el dispositivo a 120Vac y encienda el interruptor. Luego con un cable conecte los puntos de prueba TP0 y TP16.

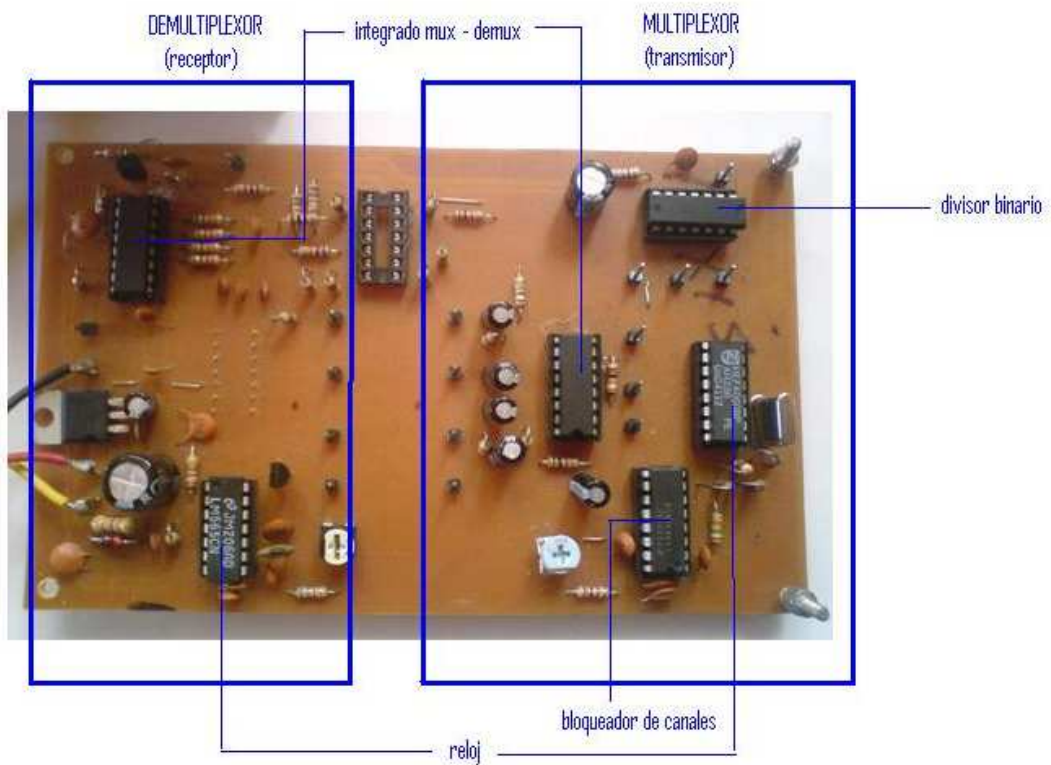


Figura 3. Entrenador TDM

- Mida la frecuencia del reloj transmisor en TP13. TP13 = _____ KHz.

Su resultado deberá ser aproximadamente a la frecuencia del cristal entre 32.

Verifique cual sea su caso:

Para 2 entrenadores 4.000 MHz

Para 1 entrenador 6.000 MHz

- El circuito integrado, U11 (74HC4538), suministra blanqueo entre canales. Este previene la diafonía (*cross-talk*). Ajuste VAR4 para obtener un ancho de pulso de blanqueo entre 1.5 y 1.8 μ S en TP14. Escoja el valor y consígnelo TP14= _____ μ S

- U3 (7490) es un contador de rizado (asincrónico) de 4 bits, conectado para suministrar una división por cinco. Las salidas de este circuito integrado son conectadas a los pines A, B y C del circuito integrador multiplexor, U5 (4051). Este multiplexor puede utilizar para 8 canales de salida, pero tres canales no son usados. El canal 5 es usado para transmitir la señal de sincronización de trama.

- Observe y registre los valores de frecuencia en los Puntos de Prueba TP10, TP11 y TP12, los cuales corresponden a las salidas del divisor binario. TP10 = _____ KHz. TP11 = _____ KHz. TP12 = _____ KHz.

- En TP5, lo cual corresponde a la salida de la señal compuesta mida y registre el ancho de cada uno de los cuatro canales. TP5 = _____ μ S. y el ancho del pulso de sincronismo _____ μ S. verifique que la señal se observe como se muestra en la figura 4.

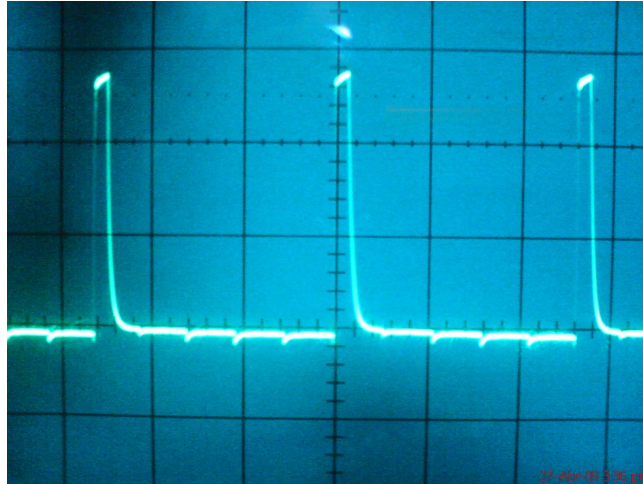


Figura 4. Señal compuesta (salida del MUX)

Cada periodo de la señal compuesta se conoce como trama. Ya que este dispositivo es de cuatro canales, se verifica que aparezcan los 4 time slots y el pulso de sincronismo.

- Ahora Encienda y adecue los generadores de señales. Con la ayuda del osciloscopio cuadre las formas de onda sinodal de los generadores de señal tal como se detalla a continuación:

Generador 1: 1 KHz a 1Vpp.

Generador 2: 2 KHz a 1Vpp.

- Conecte el generador 1 en el punto de prueba TP7 el cual corresponde al canal 1 del circuito transmisor.

- Conecte el canal 1 del osciloscopio a la salida del multiplexor en TP5 y verifique la forma de onda de la señal compuesta. Esta se tiene que observar cómo se muestra a continuación:

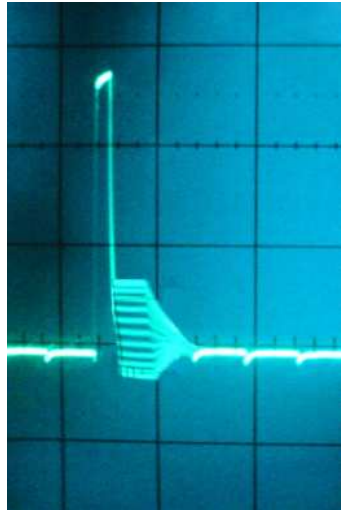


Figura 5. Señal compuesta alimentada con el canal 1

Nota: si existe algún tipo de distorsionamiento en la señal baje las tensiones de las señales de entrada en el generador de señales gradualmente hasta que la señal sea como se muestra en la figura 5.

De igual manera, en orden vaya cambiando el generador de señales 1 conectado en el primer canal (TP6) a cada uno de los demás canales de entrada (TP7, TP8 y TP9) uno a la vez. ¿Qué observa? Verifique que salga la señal en el slot que le corresponde a cada canal

Ahora conecte el generador 2 al canal 2. Al conectar los generadores de señales a su correspondiente canal de entrada (TP6, TP7) la señal compuesta se debe observar cómo se muestra en la figura 6, la cual muestra cuando se conectan los cuatro canales.

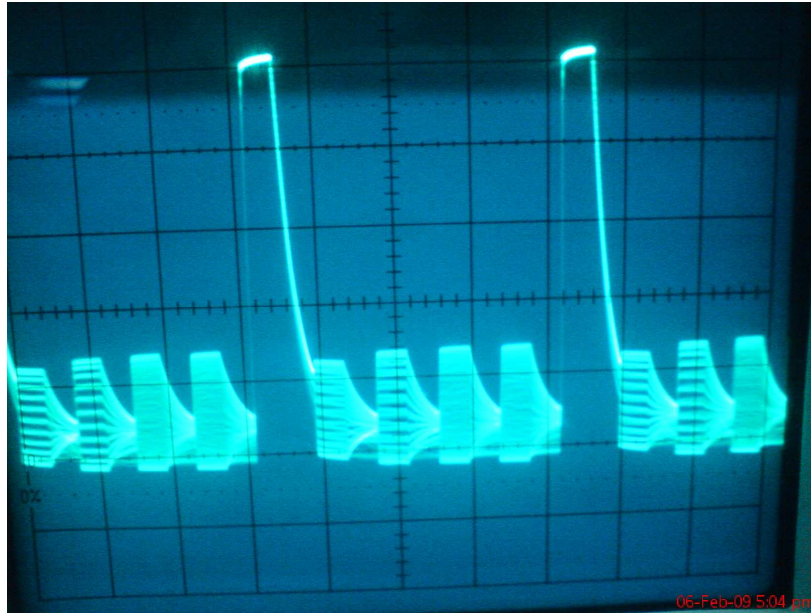


Figura 6. Señal compuesta alimentada con los 4 canales

- Apague la alimentación y desconecte las señales de entrada del circuito.

- **MULTIPLEXACION POR DIVISION EN EL TIEMPO (TDM)**

Recepción

6. Procedimiento

- Energice el modulo TDM
- Conecte la señal de salida del multiplexor TP5 o TP0 con la señal de entrada del demultiplexor TP16.
- Verifique con el osciloscopio que se observe la señal compuesta del a figura 4 en la entrada del demux TP16.
- Encienda el generador de señales 1 y conéctelo al primer canal de entrada del mux TP7.
- Conecte el canal 1 del osciloscopio en la salida del canal uno en el demux, TP21 y luego conecte el canal2 del osciloscopio en la entrada del canal uno en el multiplexor TP7. Cuadre el osciloscopio hasta que pueda observar bien la señal senoidal del canal 2.
- coloque el osciloscopio para observar el canal uno. Sintonice con el potenciómetro VAR1 en la tarjeta hasta que pueda observar una señal senoidal definida. En este proceso lo que usted está haciendo es sincronizar los relojes del transmisor (mux) y el receptor (demux). Ahora coloque el osciloscopio en dual para observar ambas señales y verifique que efectivamente se está recuperando la señal multiplexada. Cuadre los niveles de tensión de las señales en volt/div en el osciloscopio hasta que estén ambas del mismo tamaño.
- Escriba la frecuencia de la señal de salida (canal 2 del osciloscopio) _____KHz y compárela con la frecuencia de señal senoidal de la entrada del mux (canal 1 del osciloscopio). Comente los resultados.

-
-
- Con el mismo generador de señales repita este proceso para cada uno de los demás canales de la tarjeta TDM.
 - Ahora, encienda los generadores de señales 1 y 2, Los cuales deberían estar cuadrados como se dijo anteriormente, verifique:
 - Generador 1: 1 KHz a 1Vpp.
 - Generador 2: 2 KHz a 1Vpp.
 - Conecte los generadores en cada canal correspondiente en la entrada del Mux tal como se hizo en la práctica anterior.
 - Conecte el osciloscopio en la salida del Mux TP5 y verifique que la señal aparezca como en la grafica 6.

Nota: si existe algún tipo de distorsionamiento en la señal baje las tensiones de las señales de entrada en el generador de señales gradualmente hasta que la señal sea como se muestra en la figura 6.

- Conecte el canal 1 del osciloscopio en la salida del canal uno en el demux, TP21 y luego conecte el canal2 del osciloscopio en la entrada del canal uno en el multiplexor TP7. Cuadre el osciloscopio hasta que pueda observar bien la señal senoidal del canal 2.
- coloque el osciloscopio para observar el canal uno. Sintonicé con el potenciómetro VAR1 en la tarjeta hasta que pueda observar una señal

senoidal definida. Repita esto para el resto de canales sin mover el potenciómetro ya que se supone que el transmisor y receptor están sincronizados.

- Se asume que el receptor y el transmisor están sincronizados. Mida la señal del reloj del receptor en TP18 _____ KHz y compárela con la señal del reloj del transmisor en TP13 _____ KHz. Que observa, comente.

Conecte nuevamente el canal 1 del osciloscopio en TP7 y el canal 2 en TP21. Coloque el osciloscopio en dual y cuádrelo hasta que aparezcan las señales senoidal. Si es necesario mueva VAR1 hasta que aparezcan las 2 senoidal. observe los efectos de la pérdida de sincronización cuando se varía el potenciómetro VAR.

7. Preguntas.

En el espacio en blanco coloque “V” si la afirmación es verdadera o “F” si la afirmación es falsa.

1. _____ En la multiplexación por división de tiempo, el tiempo ente dos pulsos de sincronización se divide en canales de operación, cada canal teniendo el mismo periodo de tiempo.

2. _____ El tiempo de cada time slot se denomina trama.

3. _____ En el transmisor, un oscilador, el cual es un oscilador de cristal, estabiliza la tasa de multiplexación de las señales análogas y la frecuencia sincronizada recibida.

CONCLUSIONES.

1. Para la sincronización del transmisor se selecciono un divisor de frecuencia, el cual tiene como fuente un oscilador externo de cristal de cuarzo.
2. Un contador decimal se usa para encender los diferentes canales del multiplexor en el trasmisor y en el demultiplexor en el receptor.
3. El circuito integrado del demultiplexor y el del multiplexor son los mismos excepto por la manera en la cual están conectados.
4. En el receptor TDM para las funciones de sincronización se utiliza un PLL, el cual toma señales del multiplexor (pulso de sincronismo) y del divisor binario para lograr una correcta sincronización realizando un proceso de realimentación a lazo cerrado.
5. A pesar que el multiplexor con la señal del divisor binario hace la conmutación de canales sin permitir que estos se traslapen, se hizo necesario recurrir a un circuito de corte que deshabilitara el multiplexor en cada transición de canal con el fin de evitar una diafonía.
6. La señal senoidal recuperada a la salida del receptor cumple con las características propias de la señal de entrada pero un poco desfasada a causa del filtrado.

BIBLIOGRAFIA

TOMASI, Wayne

Sistemas de Comunicaciones Electrónicas

Cuarta Edición

Prentice Hall

HERRERA, Enrique

Tecnologías de redes de transmisión de datos

Limusa Noriega Editores

2003

BLAKE, Roy

Sistemas electrónicos de comunicaciones

Segunda Edición

Thomsom

2004

LINKS:

http://www.uazuay.edu.ec/estudios/sistemas/teleproceso/apuntes_1/multiplexacion.htm

http://www.vilco.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=30&Itemid=27

http://www.dednet.net/institucion/itba/cursos/000183/demo/unidad01/Multiplexacion_por_Division_en_el_Tiempo.ppt#273,1,Multiplexación por división en el tiempo.