

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE
TELECOMUNICACIONES MEDIANTE FIBRA ÓPTICA, CON GUÍA DE
LABORATORIO PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS**

**HAROLD JOSE MEDRANO MORALES
JAHIR AUGUSTO FRIAS OROZCO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2013

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE
TELECOMUNICACIONES MEDIANTE FIBRA ÓPTICA, CON GUÍA DE
LABORATORIO PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS**

**HAROLD JOSE MEDRANO MORALES
JAHIR AUGUSTO FRIAS OROZCO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

**DIRECTOR
DAVID SENIOR ELLES**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2013

Nota de Aceptación

Director Ingeniero David Senior Elles

Jurado

Jurado

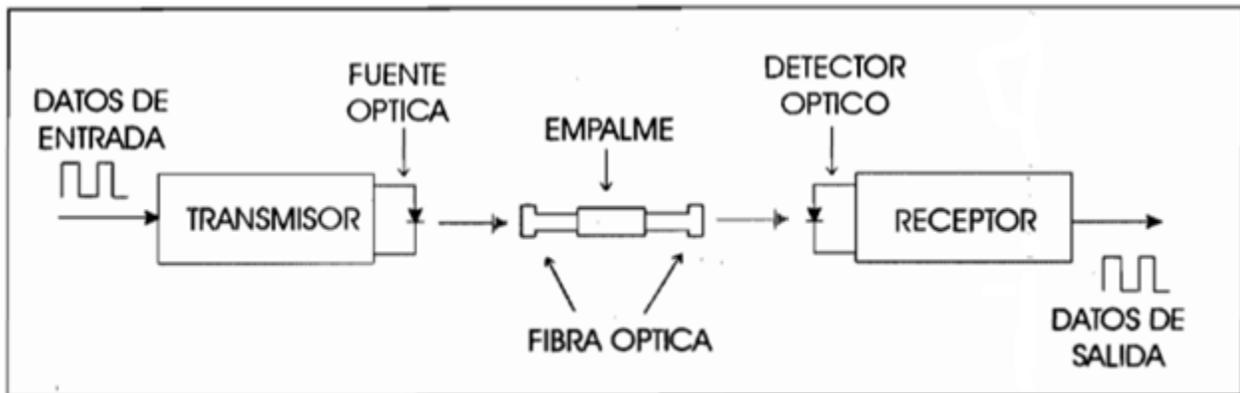
Cartagena D.T. y C. Junio de 2013

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	9
1. TRANSMISIÓN DE SENALES POR FIBRA OPTICA	10
1.1 Fibra Óptica	11
1.1.1 Tipos de fibra	12
1.1.2 Fuentes y detectores ópticos	15
1.1.3 Sistemas de comunicación por fibra óptica	23
1.2 PWM (Modulación y demodulación por ancho de pulso)	24
1.3 Modulación en amplitud de cuadratura QAM	26
1.3.1 4QAM	27
2. DISEÑO DEL SISTEMA	28
2.1 Diseño 4QAM	29
2.1.1 Desfasador	29
2.1.2 Generador De Ondas Con XR2206	30
2.1.3 Modulador y Demodulador de Amplitud	32
2.1.4 Sumador No inversor	34
2.1.5 Filtros Pasa Bandas Topología MFB Segundo Orden	35
2.2 Diseño PWM	40
2.2.1 Acondicionamiento Tx	40
2.2.2 MODULACION PWM CON SG3524	41
2.2.3 Light Driver ToTx 179	43
2.2.4 Acondicionamiento Rx	44
2.2.4.1 Pasabajos (Sallen-Key Butterworth)	43
2.2.4.2 Preamplificador	46
2.2.5 Receptor (fotodiodo Pin) ToRx 179	46
3. RESULTADOS TEORICOS Y PRACTICOS	47
3.1 Modulación 4QAM	47
3.2 Modulación PWM	58

4. PRACTICAS DE LABORATORIO	62
4.1 Practica # 0	62
4.2 Practica # 1	64
4.3 Practica # 2	65
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	68
ANEXOS	

RESUMEN



Enlace punto a punto por fibras ópticas

Tomado de www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/13977529/Sistemas-de-comunicacion-Fibra-optica.html

El presente trabajo consiste en el diseño y elaboración de un dispositivo capaz de realizar enlaces punto a punto por medio de fibra óptica, en la figura se muestra el proceso necesario para llevar a cabo esta función.

El dispositivo a implementar consta de una etapa de modulación, siendo capaz de realizarse la operación con modulación PWM o con modulación 4QAM. Luego tenemos la etapa de transmisión que se realiza por medio de un transductor de señales de voltaje y corriente a señales ópticas (fotodiodo LED), a partir de aquí se transmite la señal a través de la fibra y en el otro extremo aparece la etapa de recepción realizada a través de un transductor que se encarga de transformar las señales ópticas (fotodiodo PIN) a señales de voltaje y corriente, para luego recuperar los datos originales a través de la etapa de demodulación y acondicionamiento.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A nuestros padres por apoyarnos en todo momento, por los valores que nos han inculcado, por habernos dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de nuestras vidas y sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A nuestros hermanos por ser parte importante en nuestras vidas y por el apoyo incondicional brindado en cada momento.

Al cuerpo de profesores de la UTB principalmente a los ingenieros Gonzalo López Vergara y David Senior Elles por la confianza, el apoyo, disposición y ánimo a la hora de asesorarnos y responder inquietudes.

Y a nuestros compañeros por su amistad, compañía y colaboración a lo largo de toda nuestra carrera.

DEDICATORIAS

Este trabajo de grado está dedicado principalmente a Dios, ya que sin su fortaleza y respaldo, no hubiese sido posible, el desarrollo y culminación de esta carrera.

A nuestros padres por ser el pilar fundamental en todo lo que hoy somos, en toda nuestra educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A nuestros hermanos que siempre nos alentaron en momentos difíciles.

Y a todas esas personas que con su ayuda aportaron un grano de arena para que hoy en día este proyecto sea un hecho.

Jahir y Harold

INTRODUCCIÓN

En demanda con la necesidad del hombre de mantenerse constantemente comunicado, el mundo de las telecomunicaciones en los últimos años ha evolucionado de una manera impresionante debido a los grandes avances tecnológicos, experimentando grandes cambios en los diferentes tipos de redes existentes, migrando hoy en día a las redes de fibra óptica que permiten transmisión de gran cantidad de datos y otros servicios múltiples; cumpliendo las altas expectativas creadas con un alto nivel de satisfacción de los usuarios.

La fibra óptica es usada por muchas compañías de telecomunicaciones para transmitir señales telefónicas, comunicación vía internet, y señales de televisión por cable. Debido a su mucha más baja atenuación e interferencia, la fibra óptica tiene grandes ventajas sobre el alambre de cobre. Por esto existente en larga distancia y aplicaciones de alta demanda.

En poco más de 10 años la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías más avanzadas que se utilizan como medio de transmisión de información. Este novedoso material vino a revolucionar los procesos de las telecomunicaciones en todos los sentidos, desde lograr una mayor velocidad en la transmisión y disminuir casi en su totalidad los ruidos y las interferencias hasta multiplicar las formas de envío en comunicaciones y recepción por vía telefónica.

Hoy en día, se sabe que la forma más eficiente de que la luz viaje desde un punto hasta otro es mediante la fibra óptica.

Por tal razón el objetivo del trabajo que se presenta a continuación es conocer mejor los aspectos de un medio de transmisión de datos que causo una revolución en las comunicaciones: la fibra óptica, presentando un sistema de transmisión de datos punto a punto, para esto se propone el diseño de un sistema que consta de varias etapas. Una primera etapa dedicada al acondicionamiento de señal, seguida de una etapa de modulación en PWM y en 4QAM, posteriormente se implementa un transductor de ondas de voltaje y corriente en ondas luminosas para luego usar la fibra óptica como medio físico de transmisión y finalmente se da lugar al diseño de la etapa de recepción que consta a su vez de un transductor

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica

de ondas luminosas en ondas de voltaje y corriente, se realiza la demodulación y la adecuación de la señal.

El documento está dividido en cinco capítulos los cuales enuncian uno a uno los diferentes aspectos de los que está compuesto este proyecto. En el capítulo uno se expone el marco teórico, en él se encuentran los principios de los temas relacionados a lo largo del proyecto. El capítulo dos se muestra el diseño del dispositivo, en el capítulo tres contiene los resultados de las simulaciones y de las pruebas realizadas a partir de los circuitos diseñados y finalmente el capítulo cuatro contiene las prácticas de laboratorio sugeridas que se elaboraron con el ánimo que sirvan de apoyo en futuros laboratorios en el área de Telecomunicaciones.

1. TRANSMISIÓN DE SEÑALES SOBRE FIBRA ÓPTICA

El objetivo de este capítulo es presentar los aspectos básicos acerca de fibra óptica, modulación, transmisión con estas tecnologías y algunas de las características tenidas en cuenta para este trabajo en particular.

Esta información está a un nivel básico para que sea más sencillo entender los aspectos más importantes de este proyecto. Esto es de importancia para la formulación de trabajos futuros en esta rama, así como apoyo para el manejo del sistema diseñado para las prácticas de laboratorio en fibra óptica en el área de Telecomunicaciones.

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica

1.1 FIBRA ÓPTICA

La **fibra óptica** es un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos; un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el interior de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell. La fuente de luz puede ser láser o un LED.

Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio o cable. Son el medio de transmisión por excelencia al ser inmune a las interferencias electromagnéticas, también se utilizan para redes locales, en donde se necesite aprovechar las ventajas de la fibra óptica sobre otros medios de transmisión.

La **comunicación por fibra óptica** es un método de transmisión de información de un lugar a otro mandando señales de luz a través de fibra óptica. La luz en forma de ondas electromagnéticas viajeras, es modulada para transmitir información. Desarrollado en la década de 1970. Los sistemas de comunicación de fibra óptica, han revolucionado la industria de las telecomunicaciones y han desempeñado un papel importante en el advenimiento de la era información. Debido a sus ventajas sobre la transmisión eléctrica, las fibras ópticas han sustituido en gran medida las comunicaciones mediante cables de cobre en las redes del mundo desarrollado.

El proceso de comunicación mediante fibra óptica implica los siguientes pasos: (1) Creación de la señal óptica mediante el uso de un transmisor. (2) Transmisión de la señal o a largo de la fibra, garantizando que la señal no sea demasiado débil o distorsionada. (3) Recepción de la señal, lo que consiste en la conversión de ésta a una señal eléctrica [1].

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica

1.1.1 Tipos de fibra

La fibra óptica está considerada aún como una tecnología relativamente nueva con respecto a otros medios físicos. Su ya extendida utilización, se encuentra en plena evolución.

Según sea la forma de guiar los rayos de luz por la fibra óptica (ya sea en un cierto número de modos o en uno solo) el tipo de fibra se denomina multimodo o monomodo. Las características más sobresalientes están consignadas en la tabla 1.1.

Características	Fibras multimodo		Fibras monomodo
	Índice abrupto	Índice gradual	
Diámetro del núcleo	100µm<0<600µm	50µm<0<100µm	8µm<0<10µm
Diámetro de la cubierta	140µm<0<1000µm	25µm<0<150µm	125µm
Índice del núcleo	Constante	Carece del centro a la	Creciente o decreciente
Apertura numérica	0.30	0.20 a 0.27	Muy pequeña
Banda de paso	20 a 10 MHz/Km	200 a 1200 MHz/Km	>10 GHz/Km, no significativa
Atenuación según			
850nm	8 a 20 dB/Km		
1300nm		2.5 a 4 dB/Km	0.3 a 0.5 dB/Km
1550nm		0.6 a 1.5 dB/Km	0.150 a 0.3

Tabla 1.1 Características de los tipos de fibra óptica [Tomado de 2]

Dentro de las fibras multimodo existen dos tipos, de índice de escalón o índice abrupto y de índice gradual. En el tipo de fibra de índice abrupto, las fibras se componen de revestimiento de baja refracción y de un núcleo de elevado índice de refracción, por el que se guía la luz mediante reflexión total en el límite revestimiento-núcleo. En el caso de fibras ópticas con perfil de índice gradual la luz se desvía continuamente hacia el eje de la fibra en las regiones externas con índice de refracción menor.

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica

En la fibra óptica de índice abrupto, el índice de reflexión del núcleo es completamente distinto al índice de refracción de la cubierta. De esta forma, durante la transmisión la luz va chocando contra las paredes de la cubierta, siendo reflejada en cada choque hacia el núcleo. Este sistema es el más fácil de construir, pero presenta como inconvenientes una mayor atenuación y un ancho de banda más estrecho.

Dado que el núcleo presenta un índice de refracción constante, la velocidad de los rayos luminosos también será constante, así a mayor espacio recorrido por dichos rayos, mayor será el tiempo que tardarán en llegar al otro extremo de la fibra óptica.

En este tipo de fibra los rayos luminosos se propagan por la fibra en zigzag, de ahí que los rayos sigan recorridos diferentes, es decir que unos tardarán más tiempo que otros en llegar al extremo opuesto de la fibra. Este es el motivo por el que producen algunos retardos en la transmisión. Así pues, cuando se transmiten mensajes a alta velocidad, como es el caso de la información digital, los impulsos sufren un alargamiento tendiendo a superponerse, por lo que la información puede distorsionarse. Este tipo de propagación de fibra se puede observar en la figura 1.1.

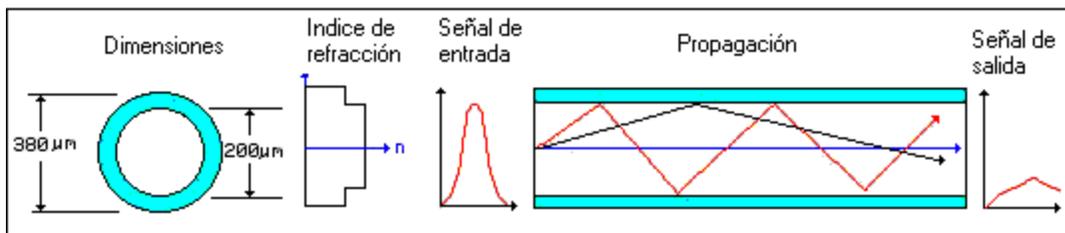


Figura 1.1 Propagación en una fibra óptica de índice abrupto [Tomado de 2]

Otro tipo de fibra multimodo es el ya mencionado de índice gradual, en el que el núcleo no mantiene un índice de refracción constante, sino que va aumentando progresivamente desde el eje hacia afuera. Con esta técnica se produce una refracción gradual a medida que los rayos van penetrando en la cubierta. Este sistema presenta un ancho de banda mayor que el de índice abrupto y menor atenuación.

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica

En las fibras de índice gradual la energía luminosa se propaga de una forma diferente a las fibras de índice abrupto. Al ir variando gradualmente el índice de refracción a lo largo del diámetro de la fibra e ir disminuyendo hasta que en el límite, entre el núcleo y la cubierta alcance el valor mínimo, los modos varían de forma helicoidal. Al no existir una diferencia grande entre el índice de refracción del núcleo y de la cubierta, la luz no choca bruscamente contra él y no viaja a través del núcleo en zigzag, como ocurre en el índice abrupto.

Los rayos de luz que se propagan por las zonas exteriores del núcleo, tienen un índice de refracción más bajo, por tanto viajarán a mayor velocidad, según la expresión de la velocidad de la luz a través del medio.

Por el contrario, los rayos que viajan por el centro del núcleo, al tener un índice de refracción mayor, se propagan a menor velocidad. De estas dos afirmaciones deducimos que, aunque los rayos de luz viajan de distintos modos, llegarán al mismo tiempo al extremo opuesto de la fibra ya que, a pesar que algunos rayos recorren más camino que otros, van a mayor velocidad. Este tipo de fibra se puede observar en la figura 1.2.

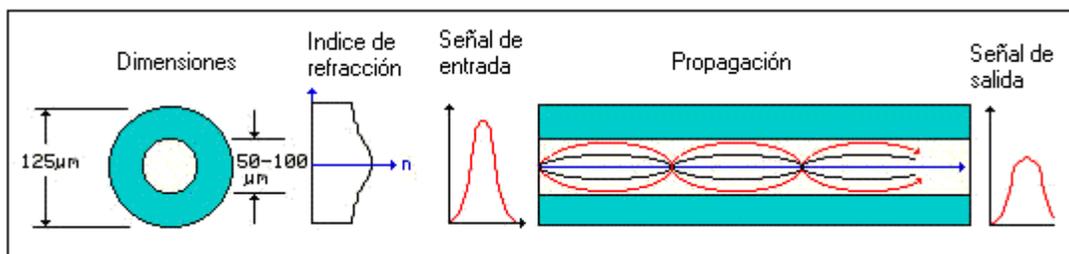


Figura 1.2 Propagación en una fibra óptica de índice gradual [Tomado de 2]

En el segundo tipo de fibra, denominado monomodo, el núcleo es muy delgado, de tan sólo unas pocas micras, y a través del cual los rayos de luz siguen un único camino, por lo tanto sólo existe un modo. Gracias a esta técnica se obtiene un ancho de banda superior y menor atenuación. Sin embargo, al tener unas dimensiones reducidas se dificulta la interfaz con las fuentes emisoras,

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica

debiendo ser estas de alta calidad, motivo por el cual este sistema también resulta más costoso. Este tipo de fibra se utiliza típicamente en comunicaciones de media y larga distancia y en enlaces intercontinentales en los que hay una elevada transmisión de datos, lo cual justifica una inversión más grande [2]. Este tipo de fibra se puede observar en la figura 1.3.

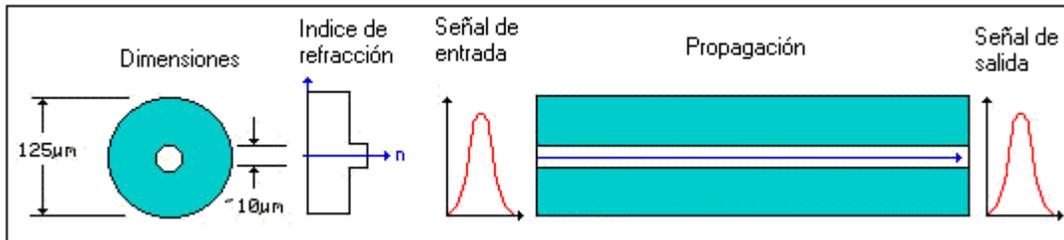


Figura 1.3 Propagación en una fibra óptica monomodo [Tomado de 2].

1.1.2 Fuentes y Detectores ópticos

Los dispositivos utilizados como emisores y detectores de radiación luminosa en los sistemas de comunicaciones ópticas son el láser de semiconductores (diodo láser) y el LED (diodo electroluminiscente). Ningún otro tipo de fuente óptica puede modularse directamente a las altas velocidades de transmisión requeridas, con tan baja excitación y tan baja salida. En función del sistema, se escogerá entre uno u otro.

El láser ofrece mejor rendimiento para altas velocidades de transmisión y largos alcances. Para anchos de banda menores y cortas distancias se suele escoger el LED, pues tanto el circuito de ataque como el de control son más sencillos.

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica

➤ Emisores

• LED

El proceso de generación de luz en un LED se basa en el efecto de electroluminiscencia: recombinación de electrones y huecos en una unión PN, que provoca la emisión de fotones.

Los dispositivos semiconductores LED (light emitting diode) emiten radiación electromagnética cuando circula una corriente eléctrica a través de ellos. A esta corriente se le denomina corriente de polarización.

La potencia emitida en función de la corriente de polarización es una curva creciente pero que tiende a un nivel máximo de emisión o nivel de saturación como se muestra en la figura 1.4.

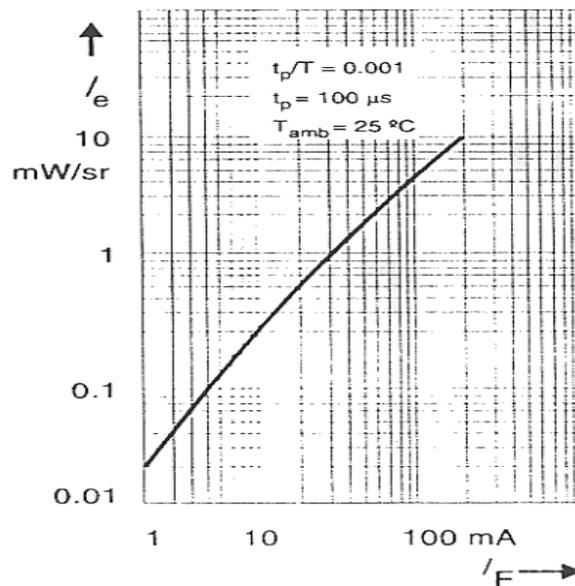


Figura 1.4 Potencia emitida en función de la corriente de polarización [Tomado de 3]

En el efecto electroluminiscente la longitud de onda de la luz emitida depende de la diferencia de energía E_g entre los niveles energéticos de la banda de conducción y la banda de valencia:

$$\text{Longitud de onda} = (hc)/E_g$$

Donde h es la constante de Planck y c la velocidad de la luz.

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica

Un LED no emite una longitud de onda única (luz coherente) sino que su emisión suele ocupar un ancho de entre 30 y 50 nm. Como se muestra en la figura 1.5, a este conjunto de longitudes de onda se le denomina espectro de emisión y corresponde a la curva que representa la potencia de luz emitida en función de la longitud de onda.

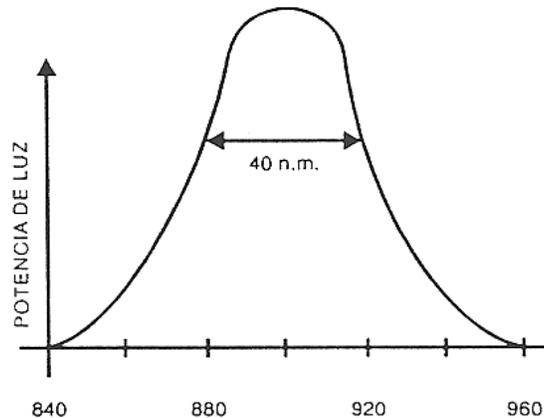


Figura 1.5 Espectro de emisión de un LED a 850 nm [Tomado de 3].

Los espectros de emisión de un LED tienen una forma parecida. Todos presentan un máximo de emisión de luz a una frecuencia central y un descenso de la potencia emitida para frecuencias alejadas de la central. Cuando se dice que un LED emite a 850 nm se está haciendo referencia a la longitud de onda cuya potencia emitida es máxima. Por supuesto este mismo LED también estará emitiendo a 820 o 880 nm, pero lo hará con una potencia inferior.

El ancho de banda típico de un LED es de 200 MHz, con rendimientos de f 50 $\mu\text{W}/\text{mA}$. Los LED presentan un espectro de emisión más ancho que el láser.

En un LED la luz se emite según los 3609 que corresponden a una radiación esférica, pero en la práctica, esto queda limitado por la construcción metálica del diodo, la reflexión en el material utilizado y la absorción en el metal semiconductor.

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica

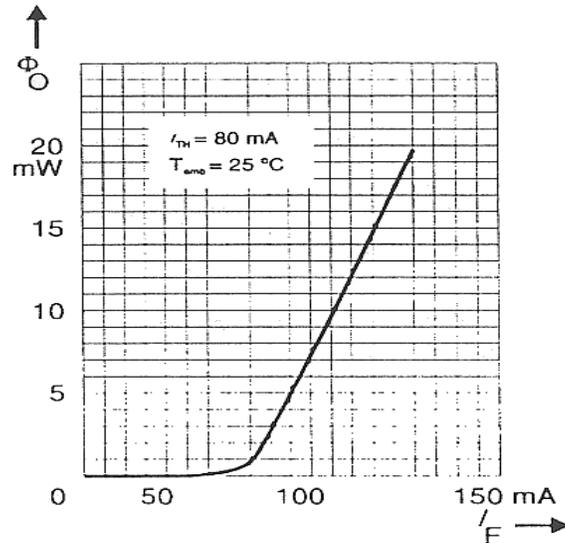


Figura 1.7 Potencia emitida por un láser [Tomado de 3].

A diferencia de los fotoemisores LED, los fotoemisores LASER tienen un espectro de emisión mucho más estrecho (2 nm) cuando se polarizan por encima de una corriente umbral. En este caso al ser tan pequeña la porción de longitudes de onda emitidas, se puede hablar de luz coherente. Cuando el LASER trabaja por debajo de esa corriente umbral, las características espectrales son similares a las del LED.

La luz de este tipo de láser puede acoplarse fácilmente a una fibra multimodo acoplando el rayo del láser contra el extremo del núcleo de la fibra, que tiene un diámetro mucho mayor; también puede acoplarse a una fibra monomodo.

➤ Detectores

Básicamente el detector es un dispositivo que convierte fotones en electrones. Así el fotodetector es el elemento que reconvierte una señal óptica en señal eléctrica, realizando la función inversa al fotoemisor. Se trata, entonces, de un transductor óptico-electrónico.

En las comunicaciones ópticas se utilizan como fotoreceptores los fotodiodos. Estos pueden clasificarse en función de su construcción en:

- Fotodiodos PN

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica

- Fotodiodos PIN
- Fotodiodos Schottky
- Fotodiodos Avalancha

La mayor parte de sistemas de fibra óptica instalados usan fotodiodos PIN y los fotodiodos de avalancha (APD)

- **Fotodiodo PIN**

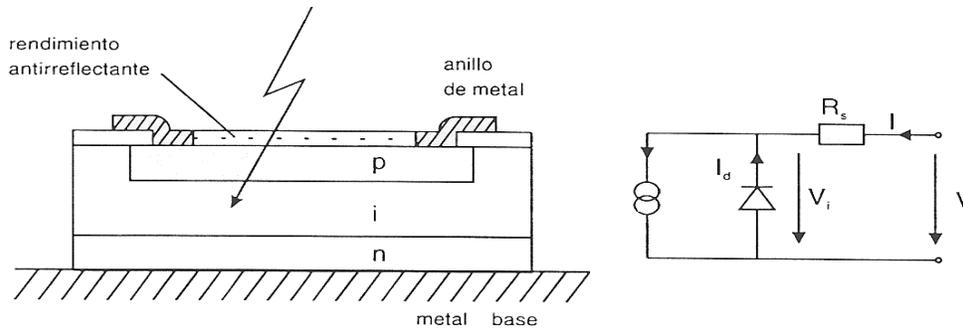
El fotodiodo PIN es el detector más utilizado en los sistemas de comunicaciones ópticas. Es relativamente fácil de fabricar, altamente fiable, tiene bajo ruido y es compatible con circuitos amplificadores de tensión. Además es sensible a un gran ancho de banda debido a que no tiene mecanismo de ganancia.

El diodo PIN se compone básicamente de unas zonas p y n altamente conductoras junto a una zona intrínseca poco conductiva. Se trata de una unión p-n algo especial, entre la zona p (huecos) y n (electrones) se intercala una zona intrínseca formada por un compuesto de InGaAs donde se generan pares electrón- hueco cuando colisionan fotones en dicha zona.

Para conseguir la generación de pares electrón-hueco, el diodo PIN debe estar polarizado en inversa con el fin de que las cargas generadas en la zona intrínseca sean aceleradas por el campo eléctrico presente entre las zonas p y n. Esto crea un flujo de corriente, proporcional al número de fotones captados (energía luminosa recibida), que se dirige a los electrodos. El proceso es rápido y eficiente. Como no hay mecanismo de ganancia, la máxima eficiencia es la unidad y el producto ganancia por ancho de banda coincide con ésta última.

En la figura 1.8 se representa una sección del semiconductor PIN y su circuito eléctrico equivalente.

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica



ESTRUCTURA DE UN DIODO PIN DE SILICIO

Figura 1.8. Sección de un diodo PIN y esquema eléctrico equivalente [Tomado de 3].

- **Fotodiodo APD**

El fotodiodo de avalancha APD de la figura 1.9 es similar al fotodiodo PIN en cuanto a que trabaja polarizado en inversa. Pero a diferencia de los diodos PIN, los APD tienen que ser polarizados a un alto voltaje (150-300 V) para conseguir el efecto de avalancha.

El efecto avalancha se alcanza cuando el campo eléctrico creado por la elevada tensión acelera fuertemente los portadores, presentes en la zona intrínseca, de manera que colisionan con átomos que componen la estructura cristalina del semiconductor.

Las colisiones ionizan los átomos, produciéndose nuevos pares electrón-hueco, debido a que los portadores llevan la suficiente energía para que los electrones pasen de la banda de valencia a la banda de conducción. Estos portadores secundarios a su vez vuelven a generar más portadores, repitiéndose el proceso efecto avalancha. Esta ionización por impacto determina la ganancia interna del dispositivo o ganancia de avalancha.

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica

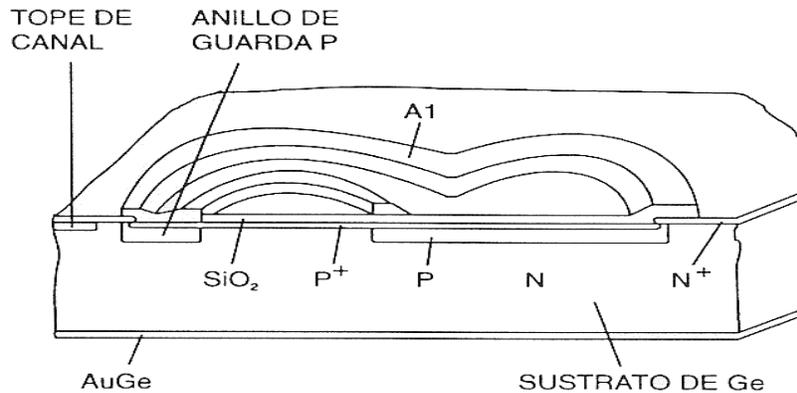


Figura 1.9 Estructura de un fotoreceptor de avalancha [Tomado de 3].

De hecho el efecto de avalancha en los fotodiodos APD puede entenderse como una amplificación de la corriente M generada por los fotones que inciden en el dispositivo.

La ganancia de un APD tiene influencia sobre el ancho de banda. El máximo ancho de banda se da para ganancia unidad. Con ganancias más elevadas, el ancho de banda se reduce debido al tiempo necesario para que se forme la fotoavalancha.

A causa de su mayor ganancia los APD tienen mayor sensibilidad que los diodos PIN, esto los hace muy atractivos para receptores de comunicación.

A pesar de sus inmejorables propiedades de sensibilidad y ancho de banda existen ciertas limitaciones que se tienen que tener presentes a la hora de realizar un diseño:

- El factor de multiplicación M de la figura 1.10 depende fuertemente del voltaje inverso aplicado y de la temperatura, lo que hace dificultoso alcanzar una ganancia estable. Un compromiso típico entre la ganancia y la estabilidad es M entre 50 y 100.

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica

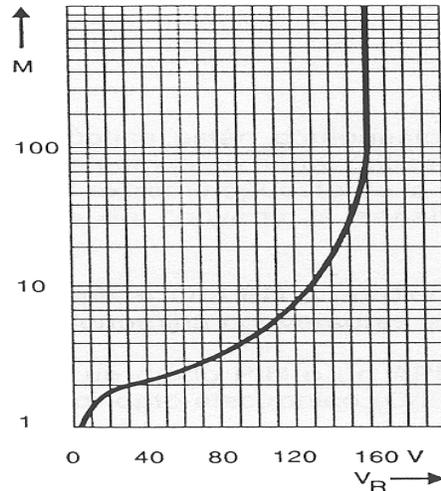


Figura 1.10 Factor de multiplicación del APD en función de V [Tomado de 3].

Otro inconveniente es la falta de linealidad debido a la caída de tensión en la resistencia de carga y de la dependencia de M con el voltaje.

Cuando no hay luz también se genera corriente, la denominada corriente de oscuridad esto da lugar a un ruido adicional y limita el nivel de detección de mínimo. La corriente de oscuridad también depende del voltaje aplicado y, por lo tanto, del factor de multiplicación.

En conclusión, los APD son muy buenos receptores en cuanto a sensibilidad y ancho de banda, pero requieren una cierta complejidad en su polarización. Debe de aplicarse tensiones elevadas para conseguir el factor de multiplicación M . También es necesaria una cuidada polarización, realimentación y, a veces, estabilización de la temperatura para prevenir averías o sobrecargas.

1.1.3 Sistemas de comunicación por fibra óptica

Composición

Los sistemas de fibra óptica están compuestos como se muestra en la figura 1.11 por un transmisor, cuya misión es la de convertir la señal eléctrica en señal óptica susceptible de ser enviada a través de una fibra óptica. En el extremo

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica

opuesto de la fibra óptica se encuentra el receptor, cuya finalidad consiste en convertir la señal óptica en señal eléctrica nuevamente.

El transmisor puede emplear un LED o un diodo láser como elemento de salida. A estos elementos se los denomina convertidores electro-ópticos (E/O).

El receptor consiste en un diodo PIN o un APD, que se acopla a la fibra óptica. Se le denomina convertidor opto-electrónico (O/E).

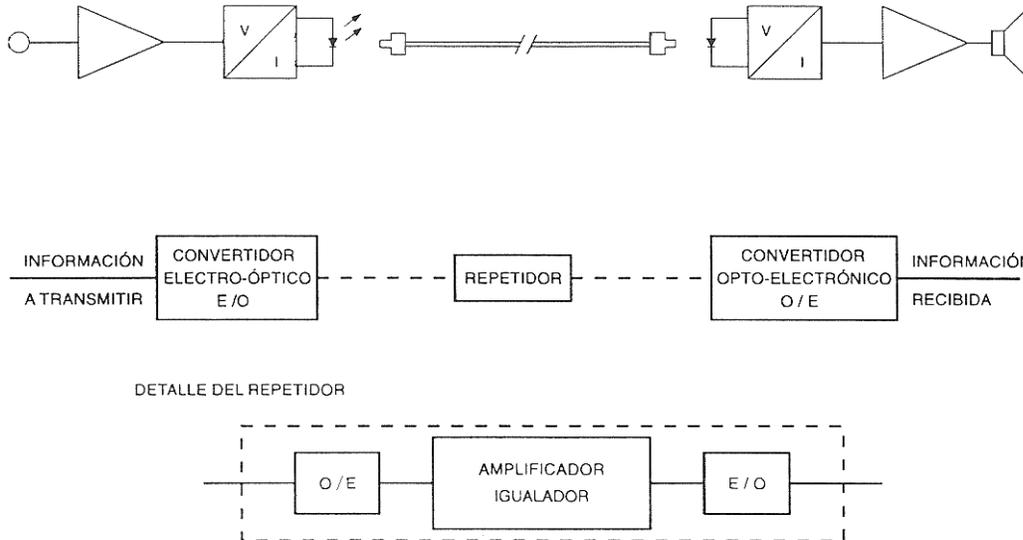


Figura 1.11 Sistema de fibra óptica [Tomado de 3].

En muchas ocasiones es necesario intercalar, entre el emisor y el receptor, un circuito repetidor que compense las pérdidas originadas por la atenuación. Este dispositivo puede ser un amplificador óptico, opera solo en el dominio óptico (no hay interconversión de fotones a electrones) o un amplificador electrónico. Este último necesita la conversión de fotones a electrones y después a fotones [3].

1.2 PWM (Modulación y Demodulación por ancho de pulso)

La modulación por el ancho de pulso puede ser usada para transmisiones de señales analógicas. En el PWM la amplitud y la frecuencia de la portadora permanecen constantes mientras que el ancho del pulso varía. La portadora es

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica

generalmente una onda cuadrada y la señal modulante varía con el ancho de los pulsos. El modulador convierte señales analógicas en una secuencia de pulsos con diferentes anchos de pulso.

La transmisión de los pulsos modulados reduce los niveles de distorsión y el ruido, lo que no ocurre en las transmisiones analógicas. Los pulsos son fácilmente regenerados y transferidos a través de múltiples estaciones repetidoras. El transmisor consiste en un generador de onda cuadrada, un generador de pulsos o un oscilador monoestable (disparador de Schmitt).

La generación de una señal modulada en ancho de pulso (PWM) requiere que la amplitud de la señal analógica de entrada, sea muestreada periódicamente. La amplitud muestreada es entonces convertida a variaciones de ancho de pulsos.

La modulación PWM se realiza con la ayuda de un circuito comparador. Este circuito compara los voltajes de entrada V_p (onda triangular) y la señal analógica de entrada $V_{analógica}$, en un proceso de comparación de señales, conocido como muestreo natural. De acuerdo con la figura 1.12, la onda triangular V_p está conectada a la entrada (-) del comparador. La señal $V_{analógica}$ está conectada a la entrada (+). El ancho de los pulsos es producido por el disparo del comparador entre los cruces de ambas señales [4]. Este proceso se ilustra en la figura 1.13.

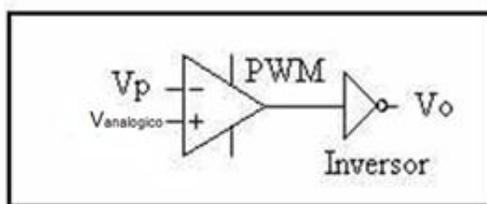


Figura 1.12 comparador usado como Modulador PWM [Tomado de 4]

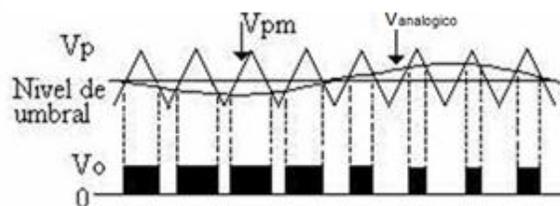


Figura 1.13 Comparación señal analógica con la señal triangular [Tomado de 4]

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica

1.3 MODULACION DE AMPLITUD EN CUADRATURA QAM

Es una técnica de modulación digital avanzada que transporta datos, mediante la modulación de la señal portadora de información tanto en amplitud como en fase. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasando 90° la fase y la amplitud.

La señal modulada en QAM está compuesta por la suma lineal de dos señales previamente moduladas en DBL-PS (Doble Banda Lateral - con Portadora Suprimida).

FUNCIONAMIENTO

La modulación QAM consiste en modular por desplazamiento en amplitud (ASK) de forma independiente, dos señales portadoras que tienen la misma frecuencia pero que están desfasadas entre sí 90°.

La señal modulada QAM es el resultado de sumar ambas señales ASK. Estas pueden operar por el mismo canal sin interferencia mutua porque sus portadoras al tener tal desfase, se dice que están en cuadratura. La ecuación matemática de una señal modulada en QAM es: $a_n \cdot \cos(\omega t) + b_n \cdot \sin(\omega t)$

Las amplitudes de las dos señales moduladas en ASK (a y b), toman de forma independiente los valores discretos a_n y b_n correspondientes al total de los "N" estados de la señal moduladora codificada en banda base multinivel, según la ecuación $N = n \cdot m$.

Una modulación QAM se puede reducir a la modulación simultánea de amplitud ASK n, m y fase PSK n, m de una única portadora, pero sólo cuando los estados de amplitud $A_{n, m}$ y de fase $H_{n, m}$ que esta dispone, mantienen con las amplitudes de las portadoras originales a_n y b_n las relaciones que se indican:

$$QAM \Rightarrow A_n \cdot \cos(\omega t) + B_n \cdot \sin(\omega t) = A_{n, m} \cdot \cos(\omega t - H_{n, m})$$

Capítulo 1. Transmisión de señales sobre fibra óptica

donde $A_n \cos(\omega t)$ y $B_m \sin(\omega t)$ están moduladas en ASK, A_n, m esta modulada en ASK y $(\cos \omega t - H_n, m)$ es una expresión modulada en PSK [5] .

1.3.1 4QAM

La transmisión 4QAM es una forma de modulación digital y modulación angular de amplitud constante. La 4QAM es una técnica de codificación M-ario, en donde $M=4$. Con 4QAM son posibles cuatro fases de salida, para una sola frecuencia de la portadora. Debido a que hay cuatro fases de salida diferentes, tiene que haber cuatro condiciones de entrada diferentes. Ya que la entrada digital a un modulador de 4QAM es una señal binaria (base 2), para producir cuatro condiciones diferentes de entrada, se necesita 2 bits: 00, 01, 10 y 11 los cuales corresponden a una determinada fase, el cambio de fase entre uno y otro es de 90° . En consecuencia, con 4QAM, los datos de entrada binarios se combinan en grupos de 2 bits llamados dibits.

Esta modulación digital es representada en el diagrama de constelación por cuatro puntos equidistantes del origen de las coordenadas. Con cuatro fases, 4QAM puede codificar dos bits por cada símbolo. La asignación de bits a cada símbolo suele hacerse mediante el código Gray, que consiste en que, entre dos símbolos adyacentes, los símbolos solo se diferencian en 1 bit, con lo que se logra minimizar la tasa de bits erróneos.

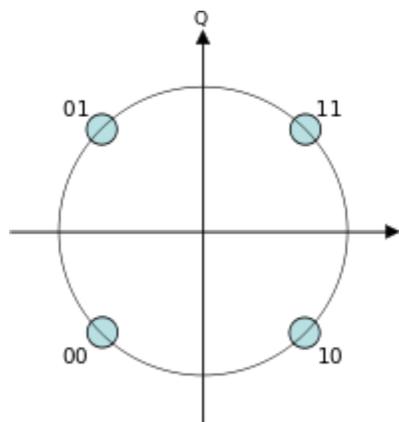


Figura 1.14. Diagrama de constelaciones 4QAM [Tomada de 5].

Capítulo 2. Diseño del sistema

2. Diseño Del Sistema

Descripción general del sistema

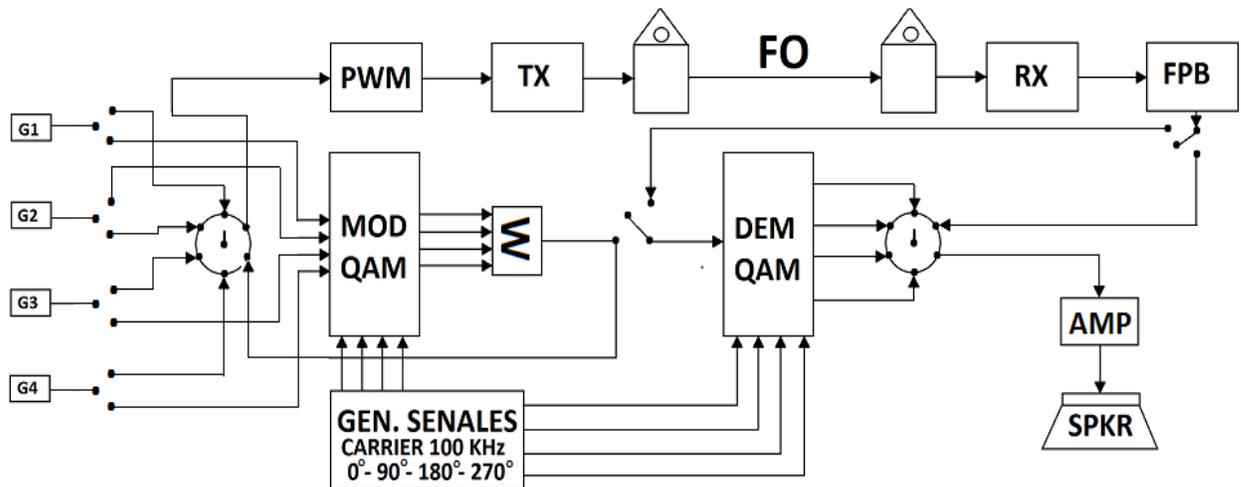


Figura 2.1 diagrama general del sistema

El sistema consta en la entada de cuatro generadores de señales a frecuencias de 1KHz, 5KHz, 10KHz y 15KHz precedidos de cuatro selectores de dos estados, los cuales se encargan de enviar las señales a un selector de cinco entradas y una salida o directamente al componente de Modulación QAM y de allí a un sumador que también tiene entrada en el selector 5x1.

La salida del selector entra al dispositivo PWM en el cual se modula y se transmite por fibra óptica, de esta manera podemos transmitir la señal que proviene directamente de uno de los generadores de señales o la señal ya modulada en 4QAM saliente del sumador.

Encontramos también el generador encargado de realizar el Carrier de 100KHz a 0, 90, 180 y 270 grados necesario en la modulación y demodulación de 4QAM.

Ya en el receptor tenemos un filtro pasabajos de 150KHz y en la salida de este un selector de dos estados que se encarga de enviar la señal recibida al demodulador 4QAM y de allí a un selector 5x1, o directamente al selector 5x1, donde serán enviadas a un amplificador y si es la ocasión a un parlante de audio.

A la salida del sumador encontramos también un selector que puede enviar las salidas sumadas de modulador 4QAM directamente al demodulador 4QAM

Capítulo 2. Diseño del sistema

obviando la parte de transmisión por fibra óptica, esto con el interés de hacer confrontaciones de resultados.

2.1 Diseño 4QAM

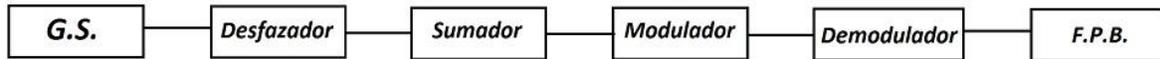


Figura 2.2 Etapas del modulador 4QAM

2.1.1 DESFASADOR

Un circuito desfasador ideal debe ser capaz de transmitir una onda sin cambiar su amplitud y modificar su ángulo de fase. Para construir un circuito desfasador sólo se necesitan tres resistencias y un capacitor como se muestra en la figura 2.3.

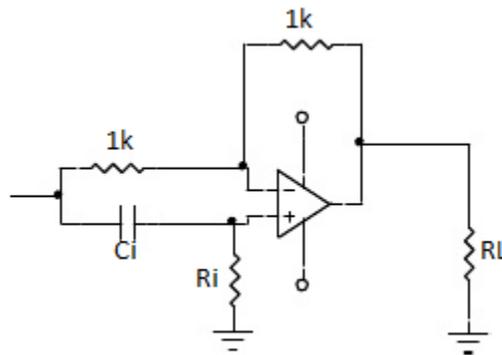


Figura 2.3 Desfasador de ángulo de fase

En este circuito el ángulo de fase θ , sólo depende de R_i , de C_i y de la frecuencia de la fuente de entrada. La relación es: $R_i = \frac{\tan(\theta/2)}{2\pi f C_i}$ (θ está expresada en grados). Si se conocemos la frecuencia de trabajo y el ángulo de fase deseado, asignamos un valor a C_i y resolvemos la ecuación para R_i .

Nuestra frecuencia de trabajo es de 100KHz y asignamos a C_i un valor de 90pf, todo esto para

$$\theta = 90^\circ.$$

De esta manera obtenemos:

Capítulo 2. Diseño del sistema

$$R_i = \frac{\tan(90/2)}{2\pi(100\text{KHz})(90\text{pf})} = 16.5 \text{ K}\Omega \quad \text{Ecuación 2.1}$$

2.1.2 GENERADOR DE ONDAS CON XR2206

El XR2206 es un generador de funciones integrado. Con él podemos obtener a la salida una señal sinusoidal, cuadrada, triangular, del tipo diente de sierra o un tren de pulsos. Es bastante estable frente a las variaciones de temperatura y tiene una gran precisión. En estos circuitos, al igual que en los VCO, tenemos un amplio margen de frecuencias válidas, que va desde 0,01 Hz a más de 1 MHz y puede ajustarse externamente. Es posible, asimismo, modular la señal de salida en amplitud o frecuencia usando una tensión exterior [6].

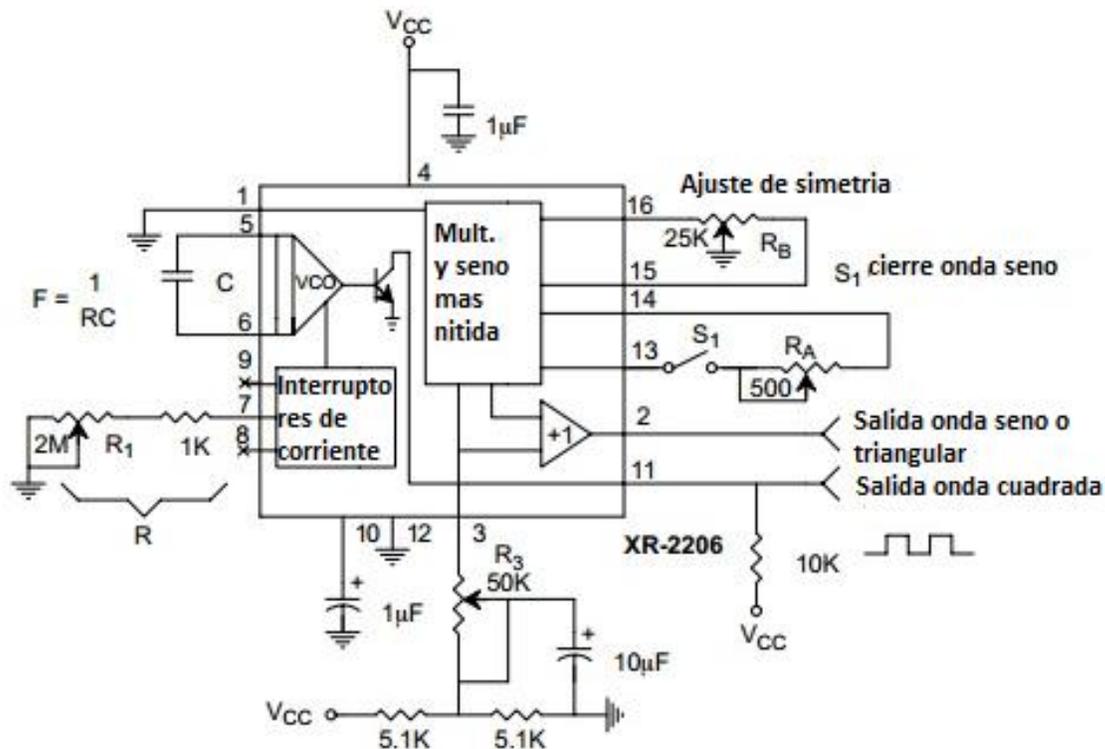


Figura # 2.4 Circuito generador de ondas con mínima distorsión armónica [Tomado de Anexo A].

La frecuencia de oscilación está determinada por el condensador C a través de pines 5 y 6, y por la resistencia R conectada a cualquier pin 7 o 8. La frecuencia se da como:

$$f_0 = \frac{1}{RC} \text{ HZ} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Capítulo 2. Diseño del sistema

Se escoge una señal de salida de 100KHz como señal portadora y se asume una capacitancia de 0,1 nf y se resuelve la ecuación para R.

$$R = \frac{1}{(100\text{KHz})(0.1\text{nf})} = 100\text{K}\Omega$$
 Esta resistencia se usa en el montaje de tipo

variable (Potenciómetro) para fines de ajuste.

La fuente a utilizar según premisas del fabricante deben ser mayor que $\pm 5V$ y menor que $\pm 13V$; escogemos $\pm 12V$ por su facilidad comercial y de esta manera cumplimos con las premisas. Para los dos ángulos faltantes (180 y 270) solo se requiere de dos operacionales inversores usando como entrada las señales entregadas por el desfaseador, y de esta manera obtenemos nuestra carrier de 100 KHz a 0, 90, 180 y 270 grados, como podemos observar en la figura 2.5.

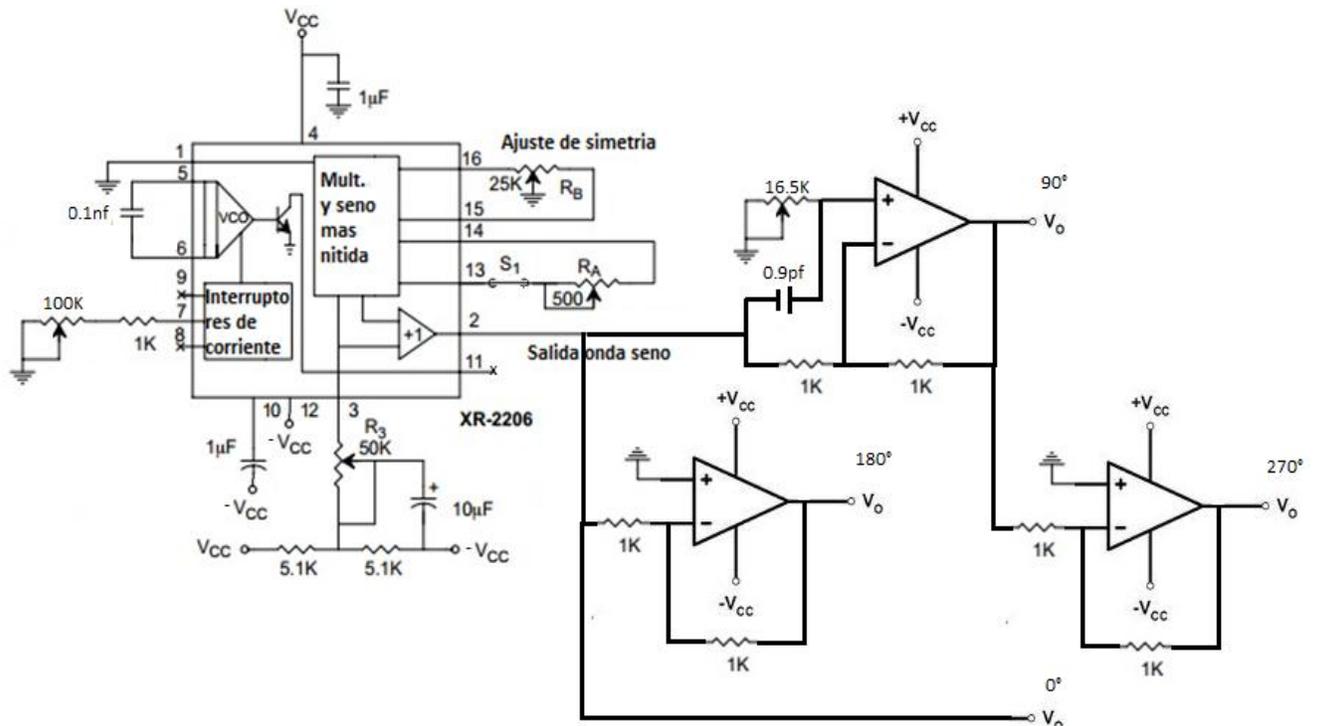


Figura 2.5 circuito implementado para obtener la carrier a 0, 90, 180 y 270 grados.

Capítulo 2. Diseño del sistema

2.1.3 Modulador y Demodulador de Amplitud

El MC1496 es un dispositivo que permite obtener a su salida el producto de dos señales y, por tanto, puede utilizarse como modulador y demodulador balanceado, mezclador doblemente balanceado, detector coherente, doblador de frecuencia, y cualquier aplicación que haga uso de dicha operación.

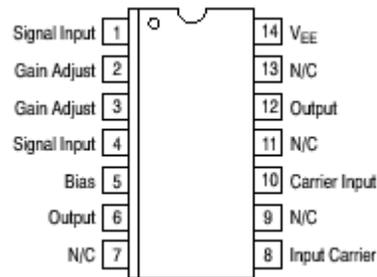


Figura 2.6 Encapsulado del MC1496 [Tomado de 7].

Este dispositivo ofrece una excelente supresión de portadora (más de 50 dB) para frecuencias en torno a 500 kHz.

Para bajas frecuencias de señal, la ganancia en voltaje viene dada por (ver figura 2.7).

$$A_{VS} = \frac{V_0}{V_m} = \frac{R_L}{R_E + 2r_e}, \quad r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_5 \text{ (mA)}} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Cuando la amplitud de la portadora es de 500 mV (pico). Para una operación lineal del dispositivo es aconsejable que la señal de entrada no tenga un valor de pico superior a:

$$V_m \leq I_5 * R_E \quad (\text{Voltios Pico}) \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Además, el MC1496 ha sido optimizado para un valor de corriente $I_5 = 1 \text{ mA}$, lo que se consigue conectando una resistencia de 6,8 k Ω entre la patilla 5 y tierra [7].

Capítulo 2. Diseño del sistema

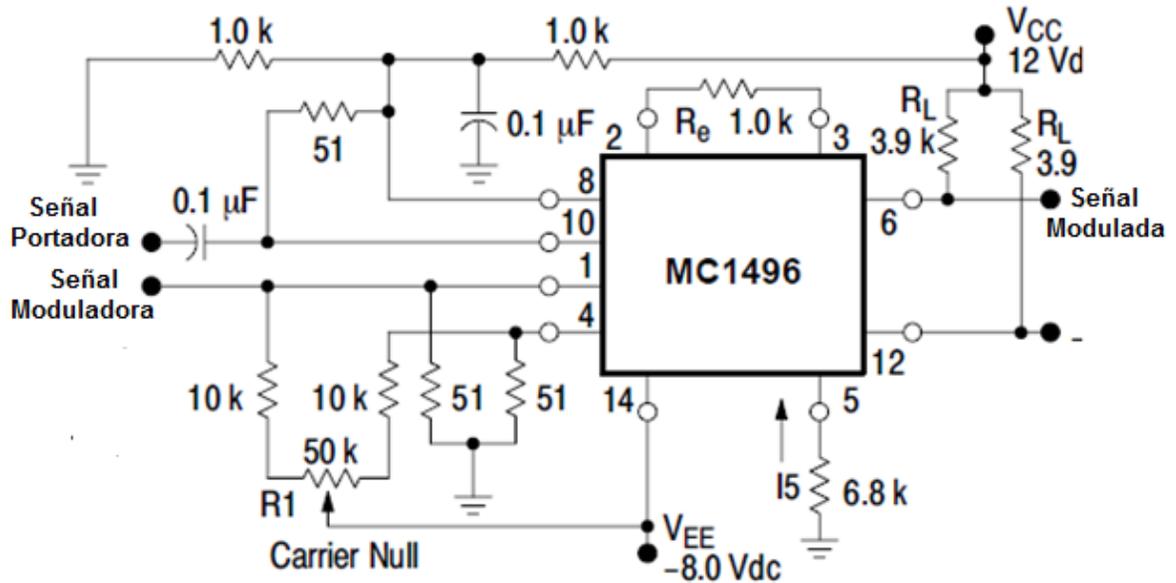


Figura 2.7 Circuito implementado para el modulador balanceado [Tomado de 7].

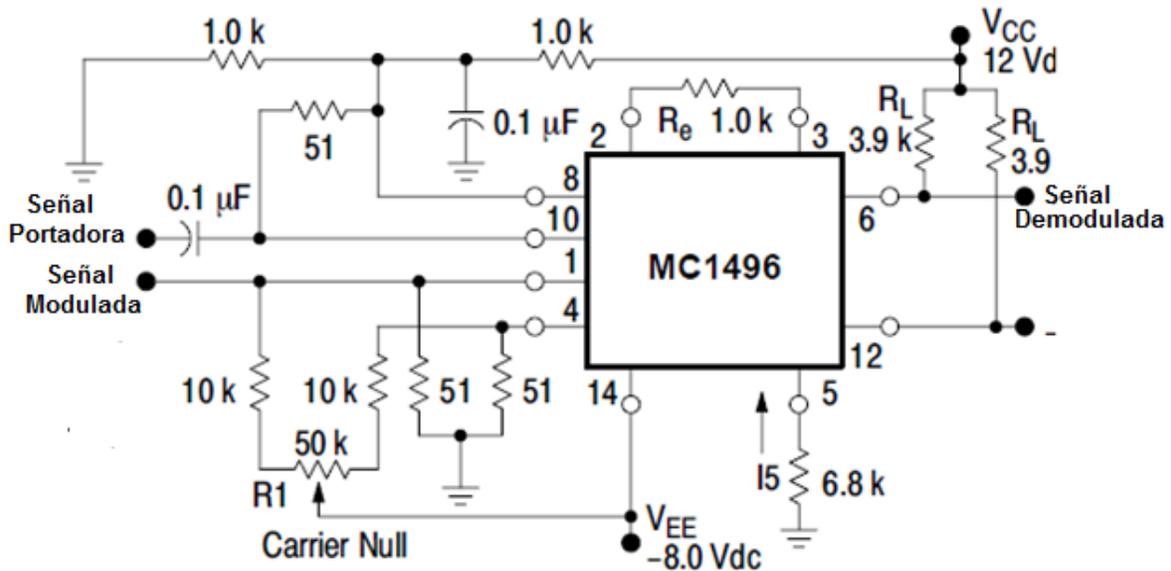


Figura 2.8 Circuito implementado para el demodulador balanceado [Tomado de 7].

Para la figura 2.8 cabe resaltar que en R1 se tiene que colocar una resistencia variable de 50 K con la que se podrá realizar el ajuste para hacer nula la carrier en el momento de recuperar la señal original.

Capítulo 2. Diseño del sistema

2.1.4 Sumador No inversor

Un amplificador operacional sumador no inversor tiene múltiples entradas en el pin no inversor. Al igual que en un sumador inversor cada entrada tiene su propia impedancia de entrada que dependen de la ganancia con la que queremos que salga esa señal y como hay un solo V_o , pues solo hay una impedancia de salida que esta por el orden de $m\Omega$ o menos.

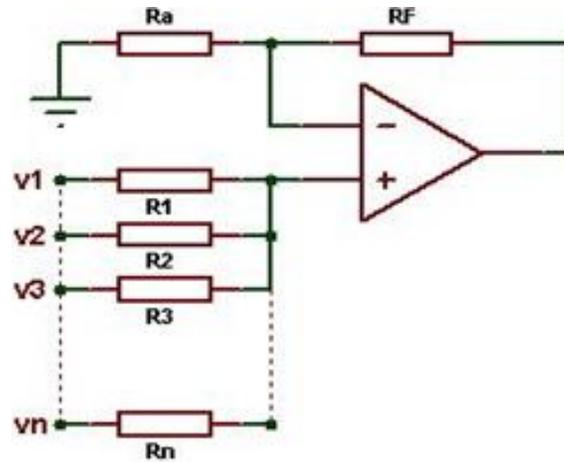


Figura 2.9 Sumador no Inversor para n entradas [Tomado de 8]

Tenemos que $V_i = V_1 = V_2 = V_3 = V_n = 1V_{pp}$

Ahora como nuestro sumador tendra cuatro entradas tenemos que:

$$V_o = 4 V_i \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Sabemos que $A_v \geq \frac{V_o}{V_i} = 4$ por lo que tomamos un valor de $A_v = 5$

$$\text{Tambien tenemos que } \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_a}{R_f} = 5 \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Asi $\frac{R_a}{R_f} = 5 - 1 = 4$ despejamos para R_a y tenemos que:

$$R_a = 4R_f \quad \text{Hacemos } R_f = 2K\Omega \text{ y obtenemos } R_a$$

$$R_a = 8K\Omega$$

Ahora como necesitamos que V_1, V_2, V_3 y V_4 tengan la misma ganancia hacemos $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ y le asignamos cualquier valor que en este caso sera de $10 K\Omega$.

Capítulo 2. Diseño del sistema

De esta manera nuestro circuito sumador no inversor quedara da la siguiente manera

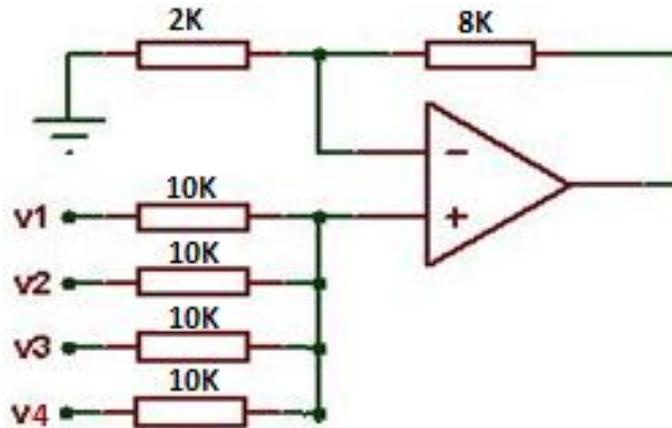


Figura 2.10 Sumador no inversor implementado

2.1.5 Filtros Pasa Bandas Topología MFB Segundo Orden

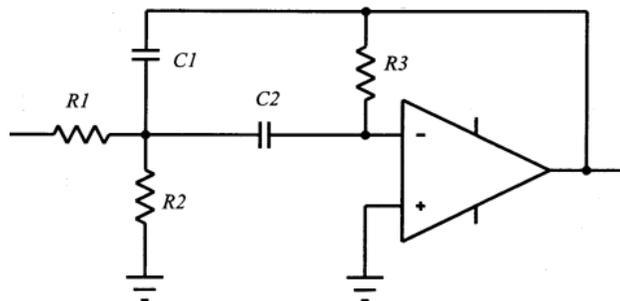


Figura 2.11 Filtro pasa bandas Topología MFB Segundo Orden [Tomado de 8]

El filtro activo de retroalimentación múltiple es un filtro paso de banda, sencillo y de buen funcionamiento, para Q_s de bajos a moderados, hasta de 10 aproximadamente. Este circuito se muestra en la figura observe que la retroalimentación tiene lugar a través de $C1$ y de $R3$ (de ahí el nombre de retroalimentación múltiple). $R1$ y $C1$ proporcionan la respuesta paso-bajas y $R3$ y $C2$ proporciona la maximización (Q) cerca de f_0 . $R2$ eleva la R_{ent} y ofrece una ganancia controlable de banda de paso [8].

Capítulo 2. Diseño del sistema

A continuación se presenta el diseño de los cuatro filtros implementados en la salida del demodulador de 4QAM.

Nuestro primer circuito pasa banda cuenta con:

$$f_0 = 10\text{KHz} \quad Q = 3 \quad C = C_1 = C_2 = 5,1\text{nf} \quad A = 9$$

$$BW = \frac{f_0}{Q} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

$$R_1 = \frac{Q}{2\pi f_0 AC} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

$$R_2 = \frac{Q}{2\pi f_0 C(2Q^2 - A)} \quad \text{Donde } 2Q^2 - A > 0 \quad \text{Ecuación 2.9}$$

$$R_3 = \frac{2Q}{2\pi f_0 C} \quad \text{Ecuación 2.10}$$

$$f_{LB} = \frac{\pm BW + \sqrt{(BW)^2 + 4f_0^2}}{2} \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Ahora bien de la ecuación 2.7 tenemos que:

$$BW = \frac{f_0}{Q} = \frac{10\text{KHz}}{3} = 3,33\text{KHz}$$

El cálculo de las resistencias lo realizamos a partir de las ecuaciones 2.8, 2.9, 2.10

$$R_1 = \frac{Q}{2\pi f_0 AC} = 1040\Omega$$

$$R_2 = \frac{Q}{2\pi f_0 C(2Q^2 - A)} = 1040\Omega$$

$$R_3 = \frac{2Q}{2\pi f_0 C} = 18724\Omega$$

Y ahora aplicamos la ecuación 2.11 para calcular las frecuencias de corte de nuestro filtro así:

$$f_L = \frac{-BW + \sqrt{(BW)^2 + 4f_0^2}}{2} = 8471\text{Hz}$$

$$f_H = \frac{+BW + \sqrt{(BW)^2 + 4f_0^2}}{2} = 11804\text{Hz}$$

Capítulo 2. Diseño del sistema

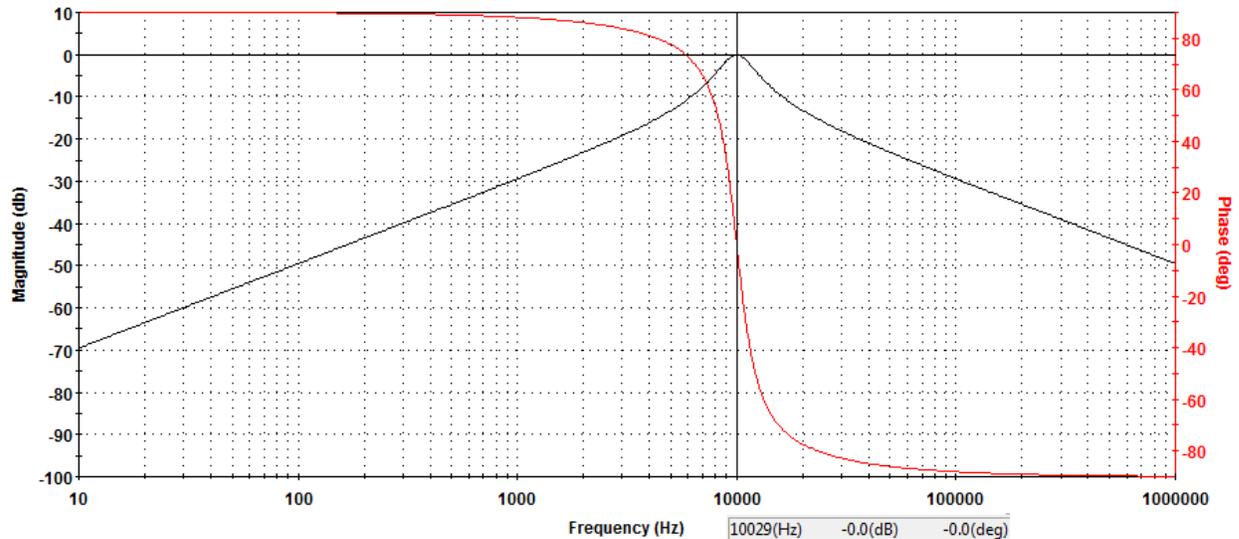


Figura 2.12 Respuesta del filtro pasa bandas implementado con $f_0 = 10\text{KHz}$

Nuestro segundo circuito pasa banda cuenta con:

$$f_0 = 1\text{KHz} \quad Q = 3 \quad C = C_1 = C_2 = 5,1\text{nf} \quad A = 9$$

Ahora bien de la ecuación 2.7 tenemos que:

$$BW = \frac{f_0}{Q} = \frac{1\text{KHz}}{3} = 0,33\text{KHz}$$

El cálculo de las resistencias lo realizamos a partir de las ecuaciones 2.8, 2.9, 2.10

$$R_1 = \frac{Q}{2\pi f_0 A C} = 10402\Omega$$

$$R_2 = \frac{Q}{2\pi f_0 C (2Q^2 - A)} = 10402\Omega$$

$$R_3 = \frac{2Q}{2\pi f_0 C} = 187241\Omega$$

Y ahora aplicamos la ecuación 2.11 para calcular las frecuencias de corte de nuestro filtro así:

$$f_L = \frac{-BW + \sqrt{(BW)^2 + 4f_0^2}}{2} = 848\text{Hz}$$

$$f_H = \frac{+BW + \sqrt{(BW)^2 + 4f_0^2}}{2} = 1180\text{Hz}$$

Capítulo 2. Diseño del sistema

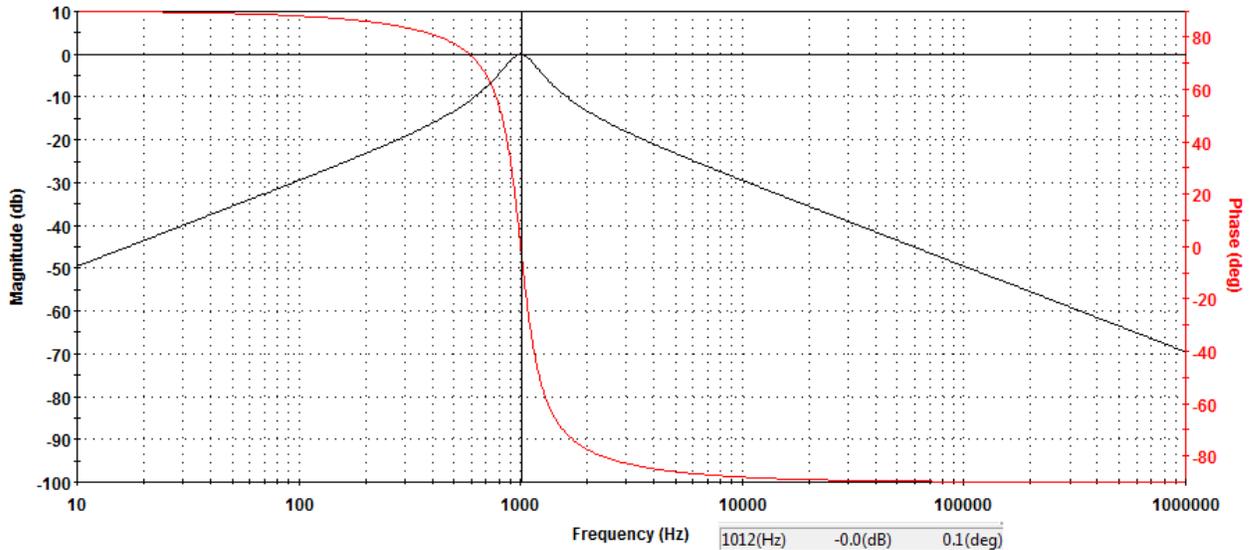


Figura 2.13. Respuesta del filtro pasa bandas implementado con $f_0 = 1\text{KHz}$

El tercer filtro pasa banda cuenta con:

$$f_0 = 5\text{KHz} \quad Q = 3 \quad C = C_1 = C_2 = 5,1\text{nf} \quad A = 9$$

Ahora bien de la ecuación 2.7 tenemos que:

$$BW = \frac{f_0}{Q} = \frac{5\text{KHz}}{3} = 1,66\text{KHz}$$

El cálculo de las resistencias lo realizamos a partir de las ecuaciones 2.8, 2.9, 2.10

$$R_1 = \frac{Q}{2\pi f_0 A C} = 2080\Omega$$

$$R_2 = \frac{Q}{2\pi f_0 C (2Q^2 - A)} = 2080\Omega$$

$$R_3 = \frac{2Q}{2\pi f_0 C} = 37448\Omega$$

Y ahora aplicamos la ecuación 2.11 para calcular las frecuencias de corte de nuestro filtro así:

$$f_L = \frac{-BW + \sqrt{(BW)^2 + 4f_0^2}}{2} = 4240\text{Hz}$$

$$f_H = \frac{+BW + \sqrt{(BW)^2 + 4f_0^2}}{2} = 5900\text{Hz}$$

Capítulo 2. Diseño del sistema

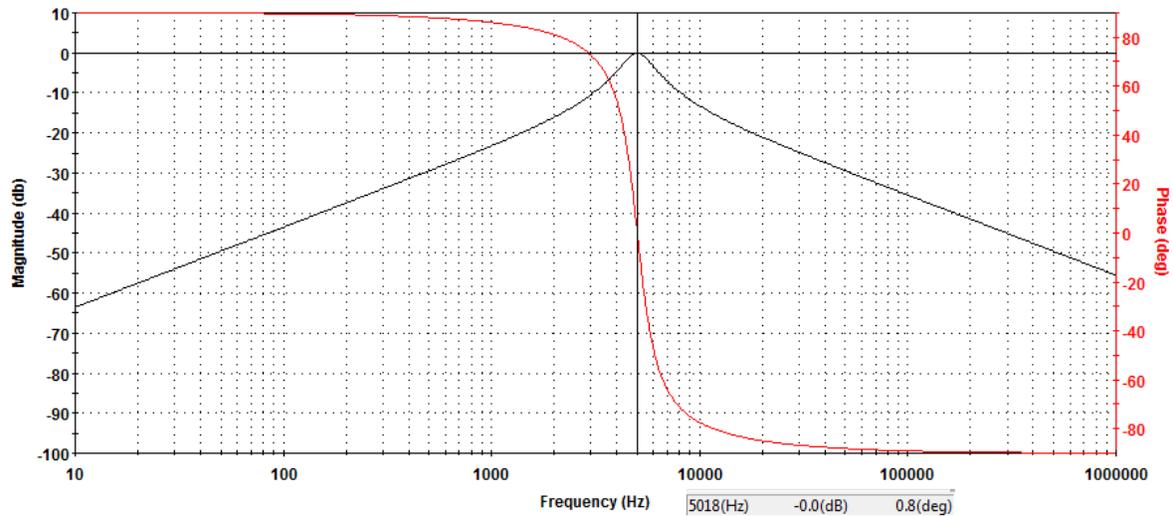


Figura 2.14 Respuesta del filtro pasa bandas implementado con $f_0 = 5\text{KHz}$

Finalmente el cuarto filtro pasa banda cuenta con:

$$f_0 = 15\text{KHz} \quad Q = 3 \quad C = C_1 = C_2 = 5,1\text{nf} \quad A = 9$$

Ahora bien de la ecuación 2.7 tenemos que:

$$BW = \frac{f_0}{Q} = \frac{15\text{KHz}}{3} = 5\text{KHz}$$

El cálculo de las resistencias lo realizamos a partir de las ecuaciones 2.8, 2.9, 2.10

$$R_1 = \frac{Q}{2\pi f_0 AC} = 695\Omega$$

$$R_2 = \frac{Q}{2\pi f_0 C(2Q^2 - A)} = 695\Omega$$

$$R_3 = \frac{2Q}{2\pi f_0 C} = 12492\Omega$$

Y ahora aplicamos la ecuación 2.11 para calcular las frecuencias de corte de nuestro filtro así:

$$f_L = \frac{-BW + \sqrt{(BW)^2 + 4f_0^2}}{2} = 12707\text{Hz}$$

$$f_H = \frac{+BW + \sqrt{(BW)^2 + 4f_0^2}}{2} = 17707\text{Hz}$$

Capítulo 2. Diseño del sistema

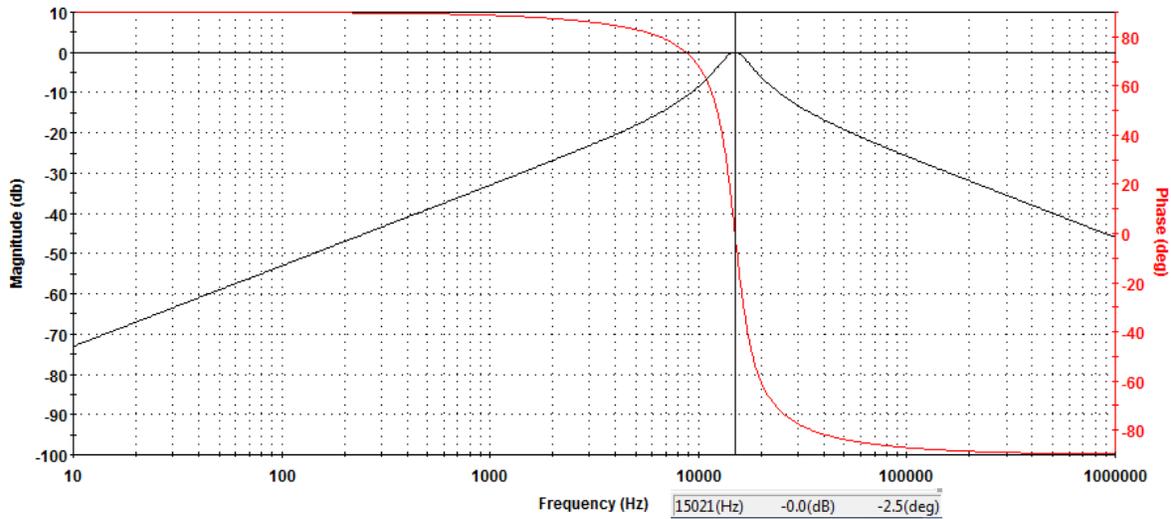


Figura 2.15 Respuesta del filtro pasa bandas implementado con $f_0 = 15\text{KHz}$

2.2 Diseño PWM



Figura 2.16 Etapas Modulación PWM

2.2.1 Acondicionamiento Tx

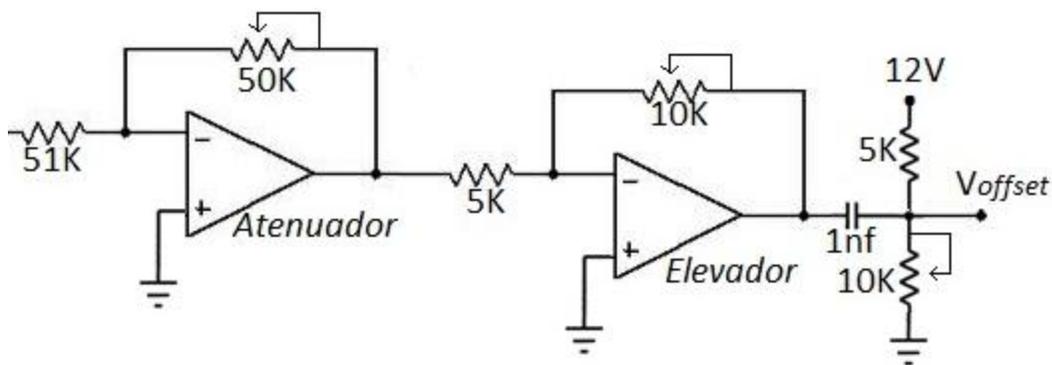


Figura 2.17 Circuito implementado para la adecuación de la señal

La ganancia máxima del atenuador y del elevador está dada por:

$$A_v = -\frac{R_o}{R_i} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

De la ecuación 2.12 tenemos que

$$A_{v_{atenuador}} = -\frac{50K}{51K} = -0,98$$

Capítulo 2. Diseño del sistema

$$A_{v_{elevator}} = -\frac{10K}{5K} = -2$$

El Voltaje de offset viene dado por:

$$V_{offset} = \frac{10K * \% * V_{CC}}{10K * \% + 5K} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

De la ecuación 2.13 tenemos que:

$$V_{offsetMax} = \frac{10K * 100\% * V_{CC}}{10K * 100\% + 5K} = \frac{10K * 12V}{15K} = 8V$$

$$V_{offsetMin} = \frac{10K * 1\% * V_{CC}}{10K * 1\% + 5K} = \frac{10K * 0,01 * 12V}{15K} = 0,08V$$

2.2.2 MODULACION PWM CON SG3524

El SG3524 es un modulador PWM de propósito general, que incluye toda la circuitería necesaria para la implementación de fuentes de alimentación conmutadas o inversores.

El encapsulado del generador PWM se muestra a continuación:

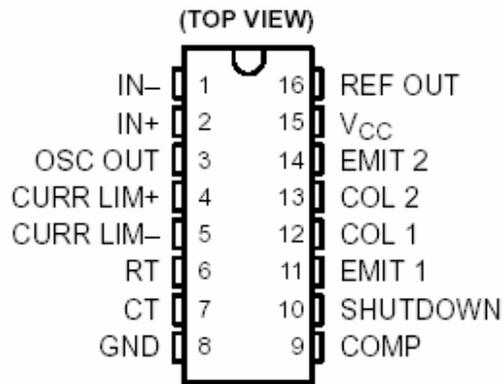


Figura 2.18 Encapsulado del SG3524 [Tomado de 9]

A continuación se describe el funcionamiento básico del SG3524, apoyándonos en la siguiente figura:

Capítulo 2. Diseño del sistema

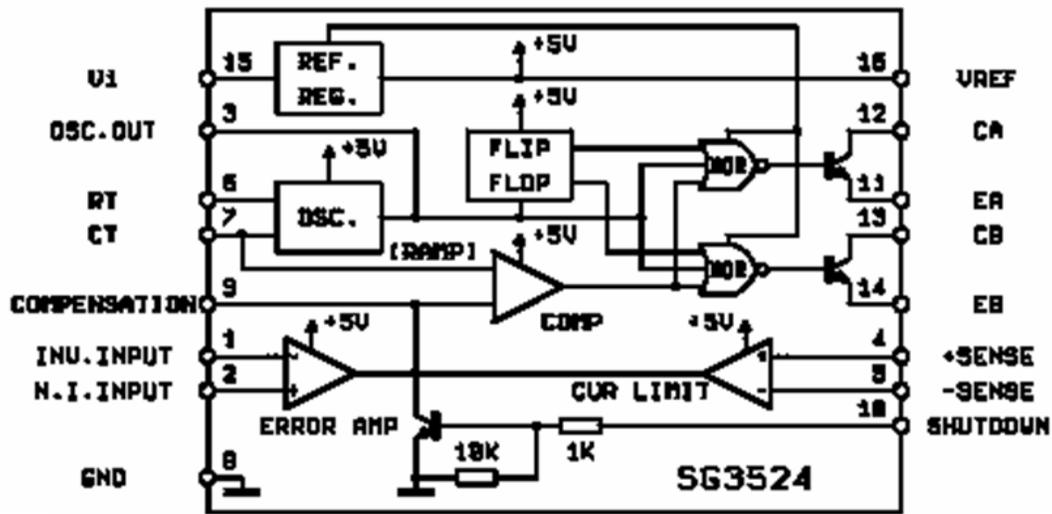


Figura 2.19 Composición interna del SG3524 [Tomado de 9]

El circuito integrado genera, mediante un oscilador interno, un diente de sierra cuya frecuencia depende únicamente de dos variables, las cuales son RT y CT, cuya única restricción es:

$$1.8K \leq RT \leq 100K \quad \text{Ecuación 2.14}$$

$$0.001\mu f \leq CT \leq 0.1\mu f. \quad \text{Ecuación 2.15}$$

La resistencia se conecta entre el pin 6 y tierra, y el condensador entre el pin 7 y tierra. La señal generada en el oscilador está disponible en el pin 3 del chip.

La salida del oscilador interno se compara con una tensión externa V_c , a través del pin 9. La salida del comparador pasa a un flip-flop y éste acciona un par de transistores de salida bipolares, de modo que los periodos pares se activa un transistor y los impares otro.

En función del valor de la entrada V_c (que puede variar entre 1 y 3.5V), en cada transistor de salida, tendremos una señal PWM con un ciclo de trabajo entre 0 y 45%, cuya frecuencia será la mitad del oscilador. Como se muestra en la figura siguiente, se puede implementar una "OR" analógica, para obtener ciclos de trabajo entre 0 y 90%, cuya frecuencia será la del oscilador:

Capítulo 2. Diseño del sistema

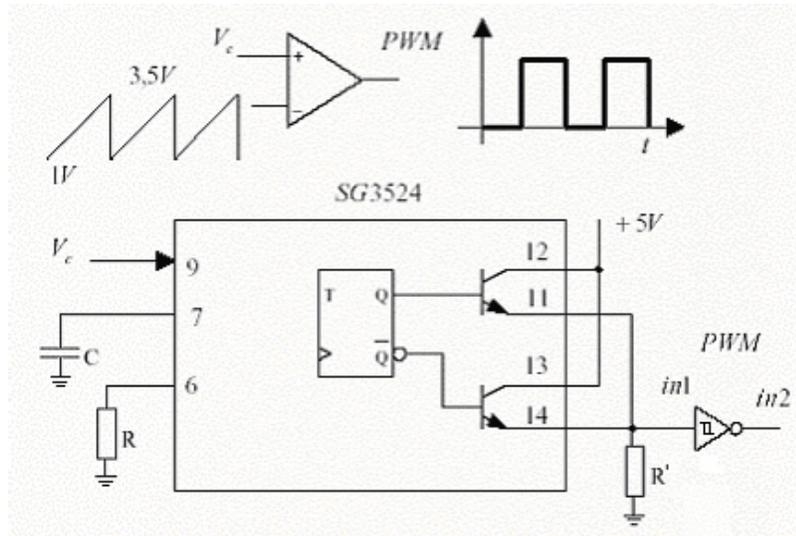


Figura 2.20 SG3524 con OR analógica [Tomado de 9]

La tensión de alimentación del circuito puede variar entre 8 y 40V (pin 15); Además necesita una tensión de referencia de 5V (pin 16 [9]).

El cálculo de R_t y C_t viene dado por la siguiente expresión:

$$f = \frac{1.3}{R_T C_T} \quad \text{Ecuación 2.16}$$

También por especificaciones del fabricante tenemos que:

$$1.8K \leq R_T \leq 100K$$

$$0.001\mu f \leq C_T \leq 0.1\mu f$$

$$120Hz \leq f \leq 500KHz$$

Dado que nuestra frecuencia de oscilación es 500KHz y tomando un valor de $C_t = 1nf$ despejando la ecuación 2.16 tenemos:

$$R_T = \frac{1.3}{(500KHz)(1nf)} = 2.6K\Omega$$

2.2.3 Light Driver ToTx 179

El transmisor óptico utilizado fue el ToTx 179 el cual posee unos parámetros de funcionamiento que se adaptan perfectamente a nuestras necesidades. Estos

Capítulo 2. Diseño del sistema

son:

- ✓ $\lambda = 650$
- ✓ $V_{cc} = 5V$
- ✓ $I_{cc} = 15mA$
- ✓ $V_{IL} = 0,8V$
- ✓ $V_{IH} = 2V$
- ✓ $P_f = 18 \text{ dBm}$

La figura 2.19 muestra a continuación el circuito implementado con el transmisor óptico ToTx 179

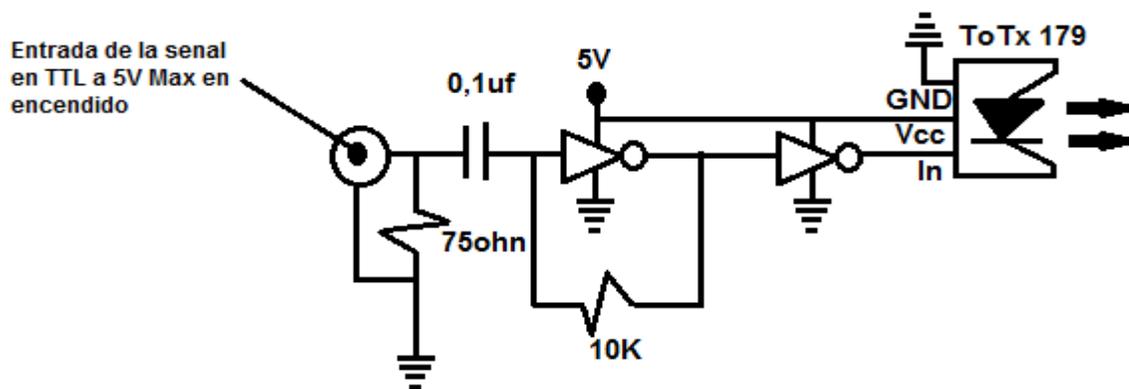


Figura 2.21 Circuito implementado con el ToTx 179

2.2.4. Acondicionamiento Rx

2.2.4.1 Filtro Pasabajos (Sallen-Key Butterworth)

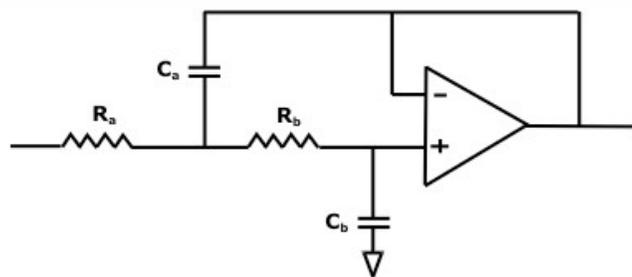


Figura # 2.22 Filtro pasa bajo de segundo orden topología Sallen-Key Butterworth

[Tomado de 10]

Capítulo 2. Diseño del sistema

Para el diseño de nuestro filtro pasa bajos tenemos:

$$C_a = \frac{\sqrt[2]{2}}{2\pi f_c R} \quad \text{Ecuación 2.17}$$

$$C_b = \frac{C_a}{2} \quad \text{Ecuación 2.18}$$

$$R_a = R_b \quad \text{Ecuación 2.19}$$

Ahora bien nuestra frecuencia de corte será $f_c = 150\text{KHz}$

Entonces le asignamos un valor arbitrario ha $R_a = R_b = 1.5\text{K}\Omega$ y resolvemos en la Ecuación 2.17:

$$C_a = \frac{\sqrt[2]{2}}{2\pi(150\text{KHz})(1.5\text{K}\Omega)} = 1\text{nf} ; \text{ Ahora de la Ecuación 2.18 Tenemos:}$$

$$C_b = \frac{C_a}{2} = \frac{1}{2} = 0,5\text{nf}$$

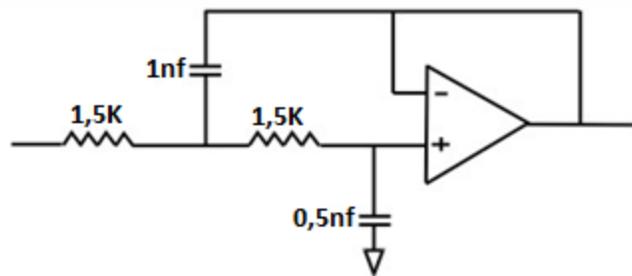


Figura 2.23 Filtro pasa bajo implementado

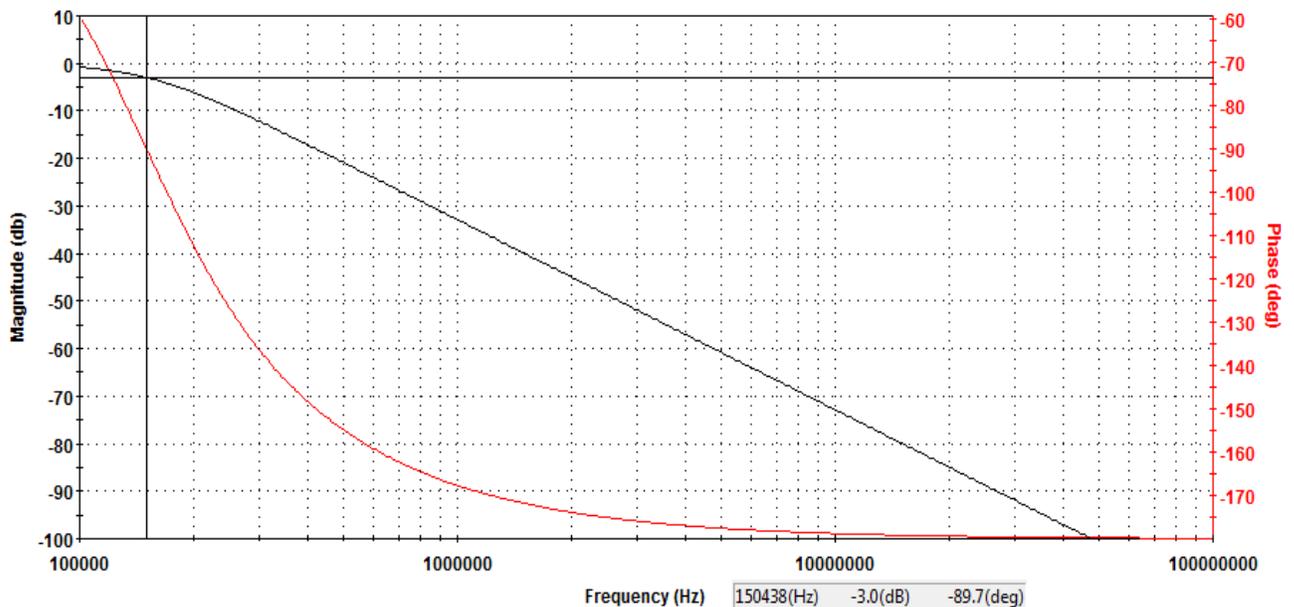


Figura 2.24 Respuesta del filtro implementado

Capítulo 2. Diseño del sistema

2.2.4.2 Preamplificador

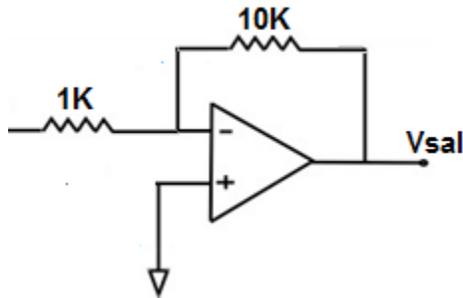


Figura 2.25 Preamplificador implementado

Tenemos que:

$$A_v = -\frac{R_O}{R_I} = -\frac{V_O}{V_I} \quad \text{Ecuación 2.20}$$
$$A_v = -\frac{10K}{1K} = -10$$

2.2.5 Receptor (fotodiodo Pin) ToRx 179

El receptor óptico utilizado fue el ToRx 179. Este posee unos parámetros de funcionamiento que se adaptan perfectamente a nuestras necesidades. Estos son:

- ✓ $V_{CC} = 5V$
- ✓ $I_{OH} = -1mA$
- ✓ $I_{OL} = 5mA$

La figura 2.24 muestra a continuación el circuito implementado con el receptor óptico ToRx 179.

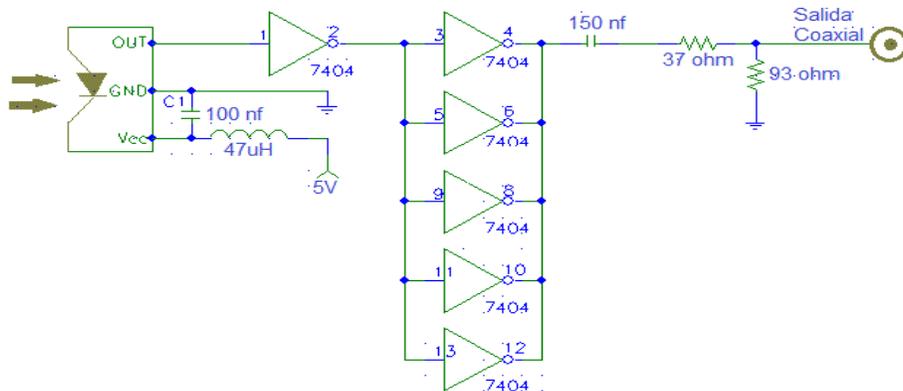


Figura 2.26 Circuito implementado con el ToRx 179

Capítulo 3. Resultados teóricos y experimentales

3. RESULTADOS TEORICOS Y PRACTICOS

3.1 MODULACION 4QAM

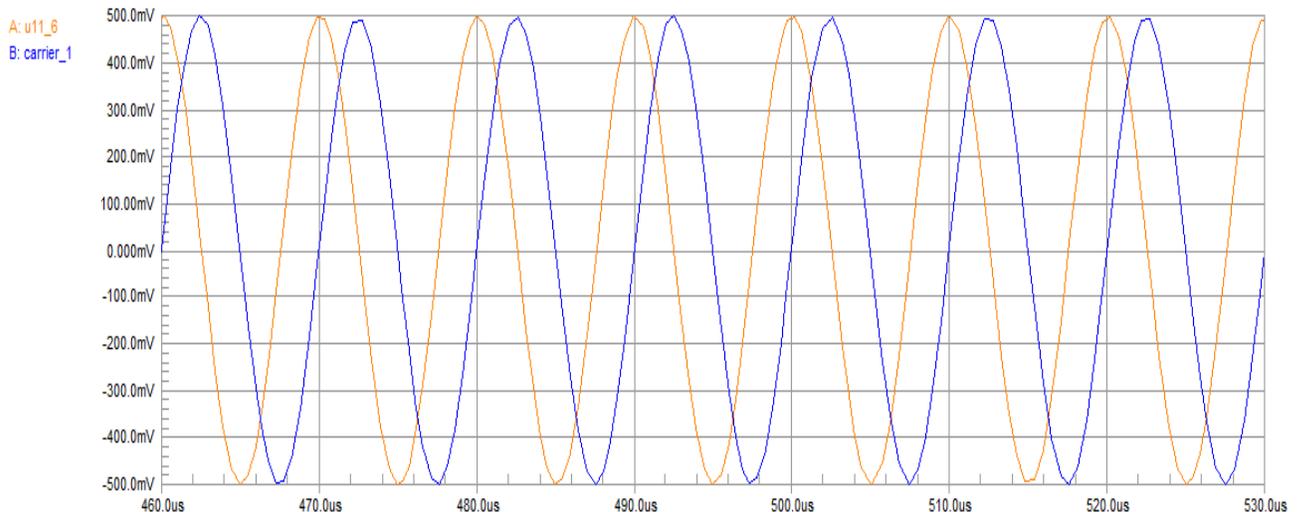


Figura 3.1 Desfase de 90° Teórico

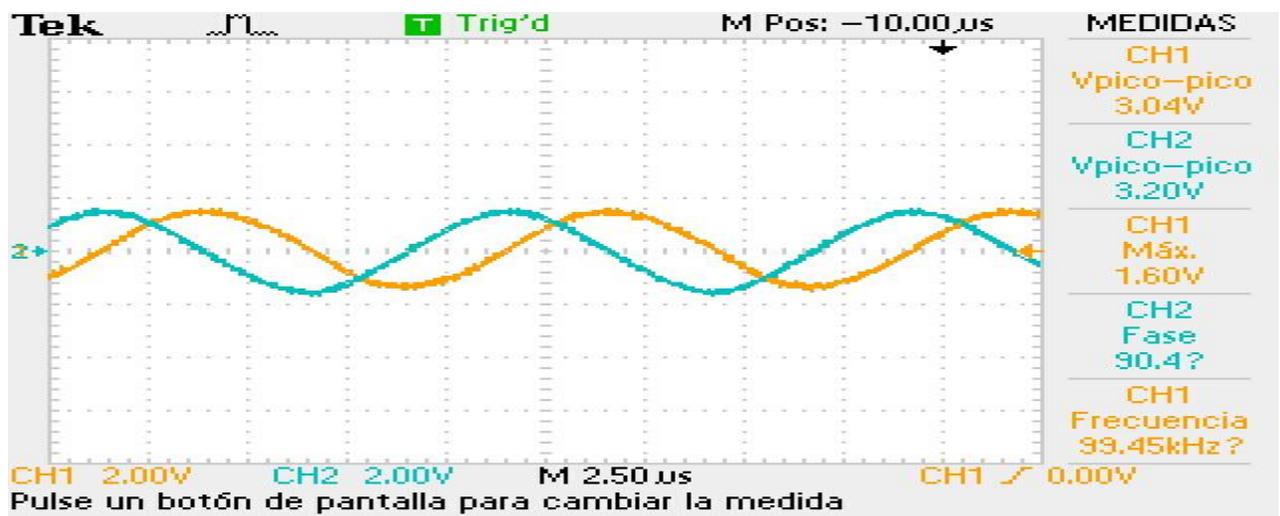


Figura 3.2 Desfase de 90° Practico

En la figura 3.1 y 3.2 podemos apreciar la onda portadora a 0° y a 90°, este es el efecto de retraso de la onda de salida generada por el desfasador, esto es necesario para la obtención de la portadora en cuadratura y de esta manera poder transmitir más información al mismo tiempo por un mismo canal de transmisión.

Capítulo 3. Resultados teóricos y experimentales

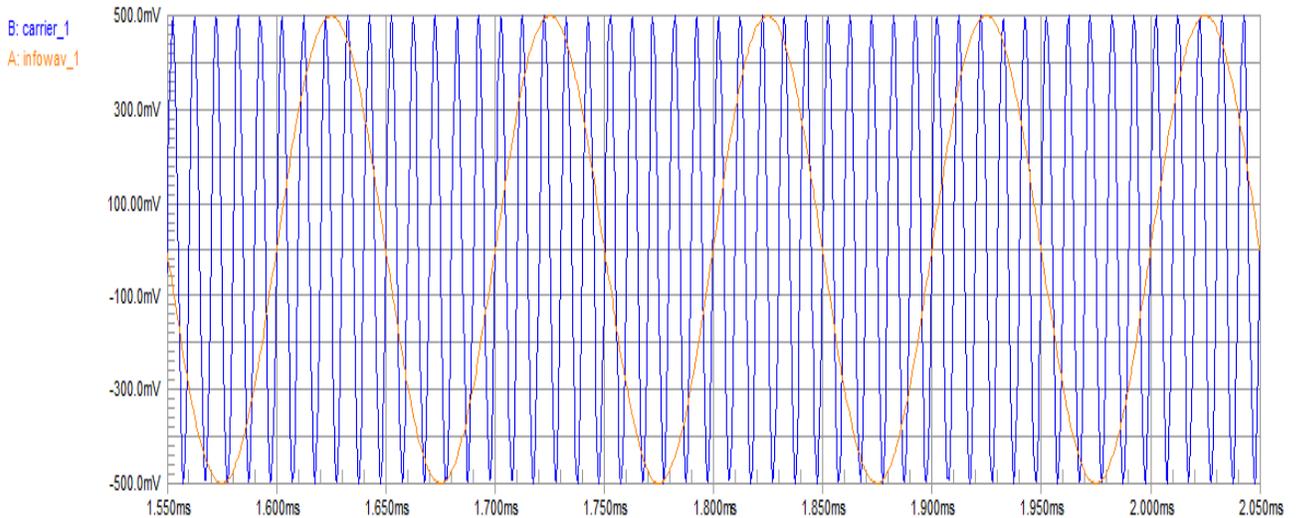


Figura 3.3 Carrier Vs Onda Moduladora Teórica

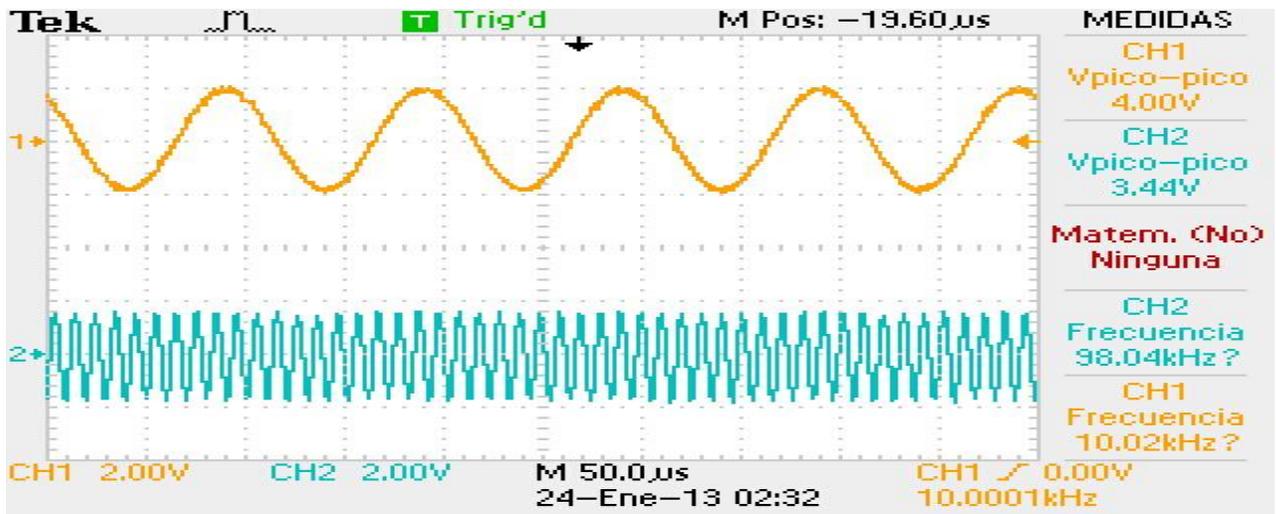


Figura 3.4 Carrier Vs Onda Moduladora Practico

En la figura 3.3 y 3.4 podemos observar la diferencia entre la frecuencia de la carrier 100 KHz que es mucho mayor a la frecuencia de la moduladora (baja frecuencia 10 KHz) antes de interactuar para su modulación.

Capítulo 3. Resultados teóricos y experimentales

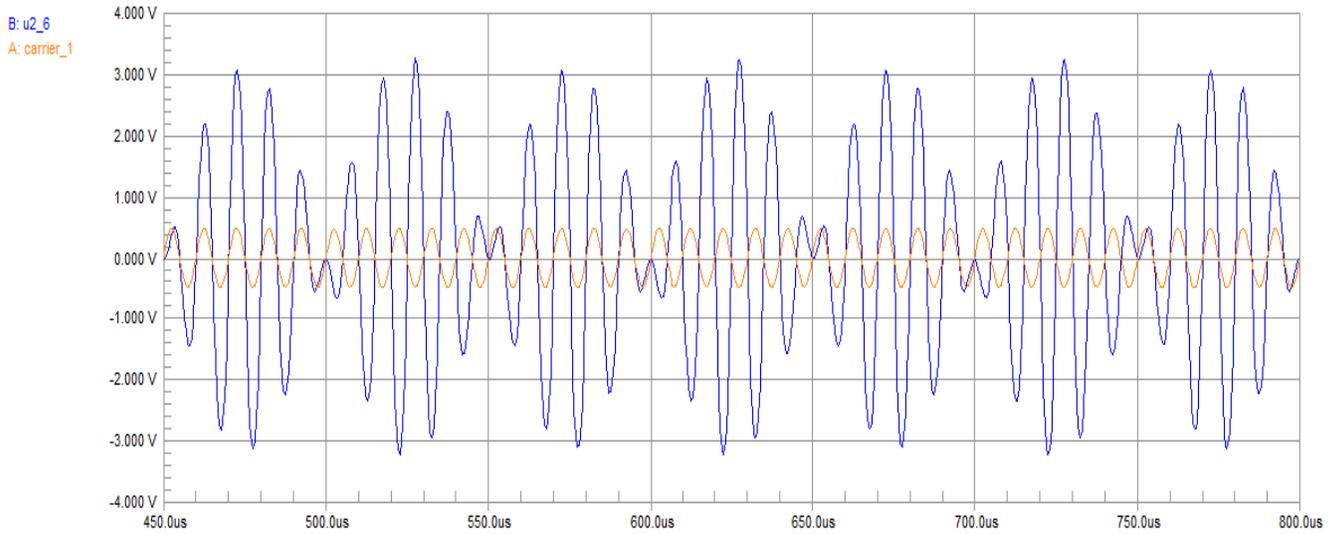


Figura 3.5 Carrier Vs Onda modulada Teorico

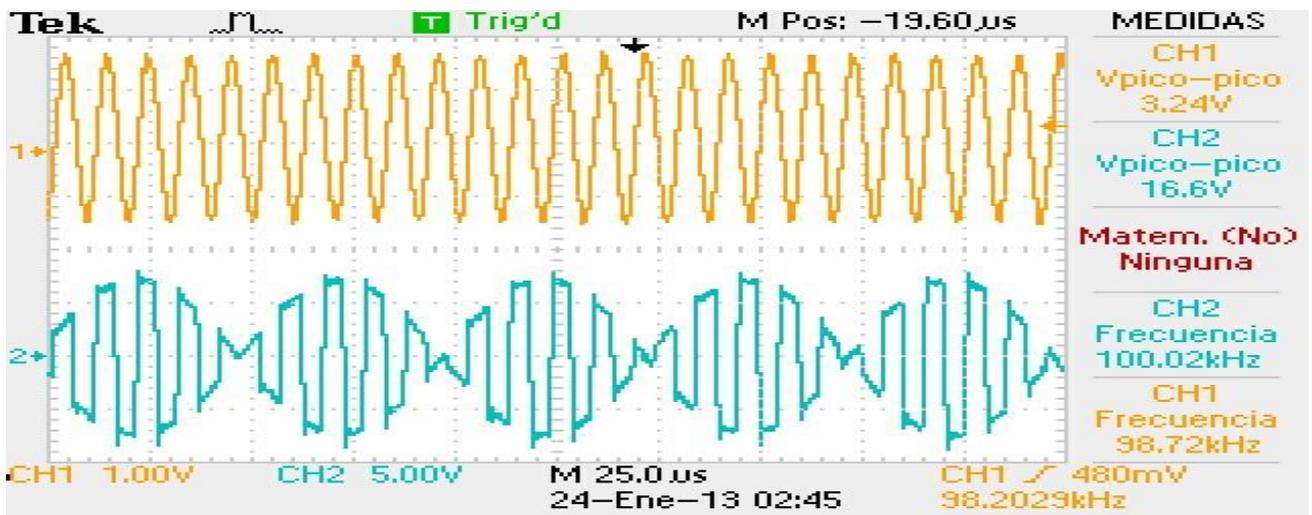


Figura 3.6 Carrier Vs Onda modulada Practico

Tanto en la figura 3.5 como 3.6 ignorando la envolvente o las variaciones de amplitud, se aprecia que ambas poseen la misma frecuencia de oscilación, cumpliendo con el principio de modulación por amplitud o am.

Capítulo 3. Resultados teóricos y experimentales

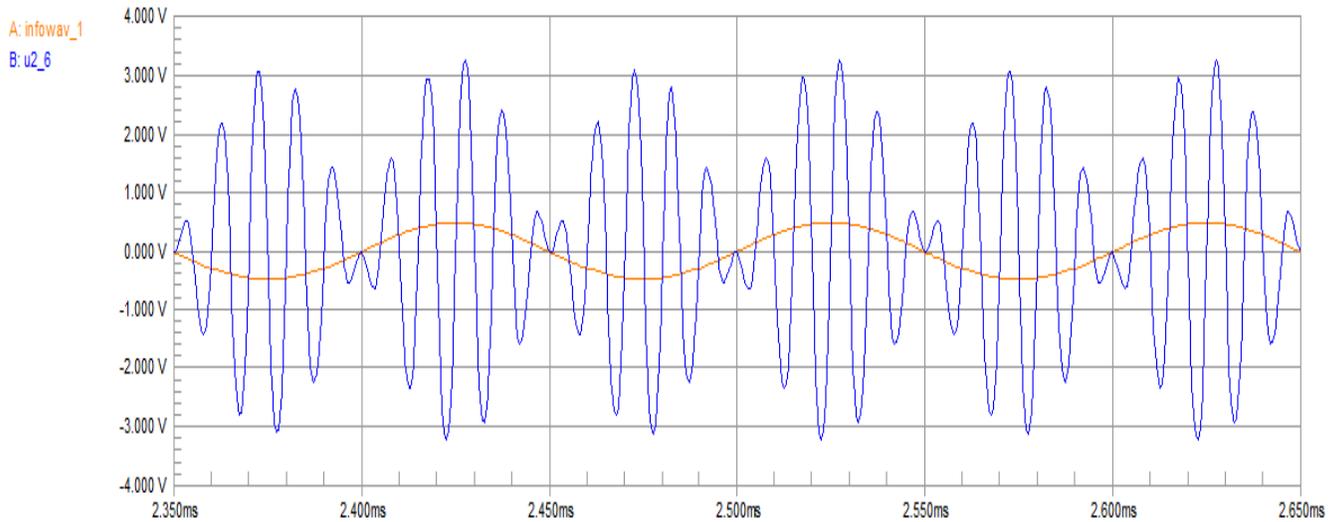


Figura 3.7 Onda Moduladora Vs Onda Modulada Teórica

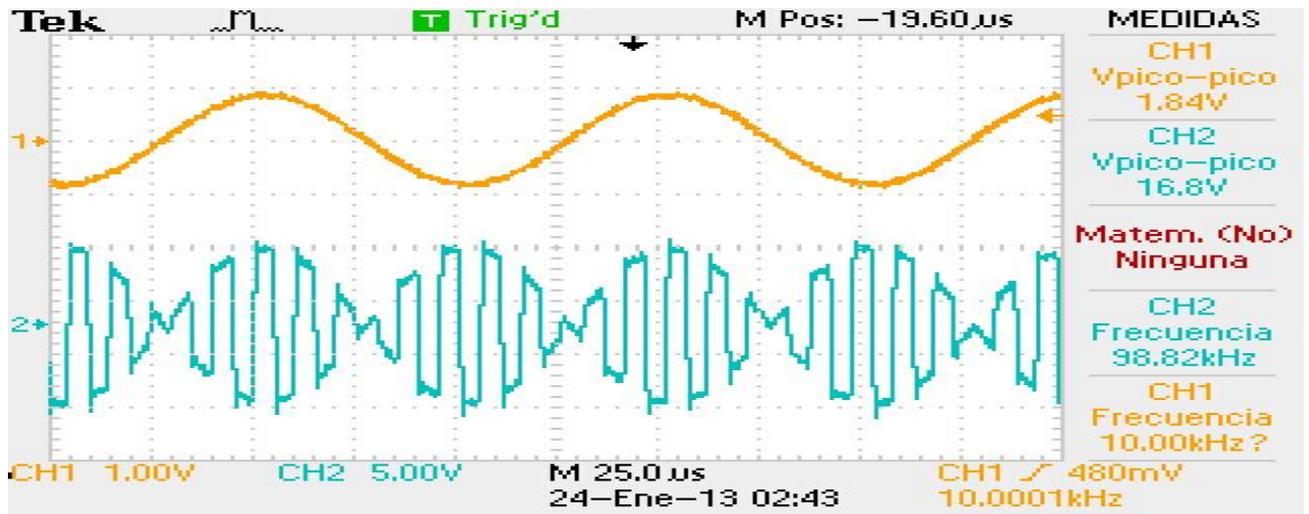


Figura 3.8 Onda Moduladora Vs Onda Modulada Practica

En la figura 3.7 y 3.8 se aprecia que las variaciones en amplitud de la señal de salida corresponden a la envolvente que en este caso es llamada infowave.

Capítulo 3. Resultados teóricos y experimentales

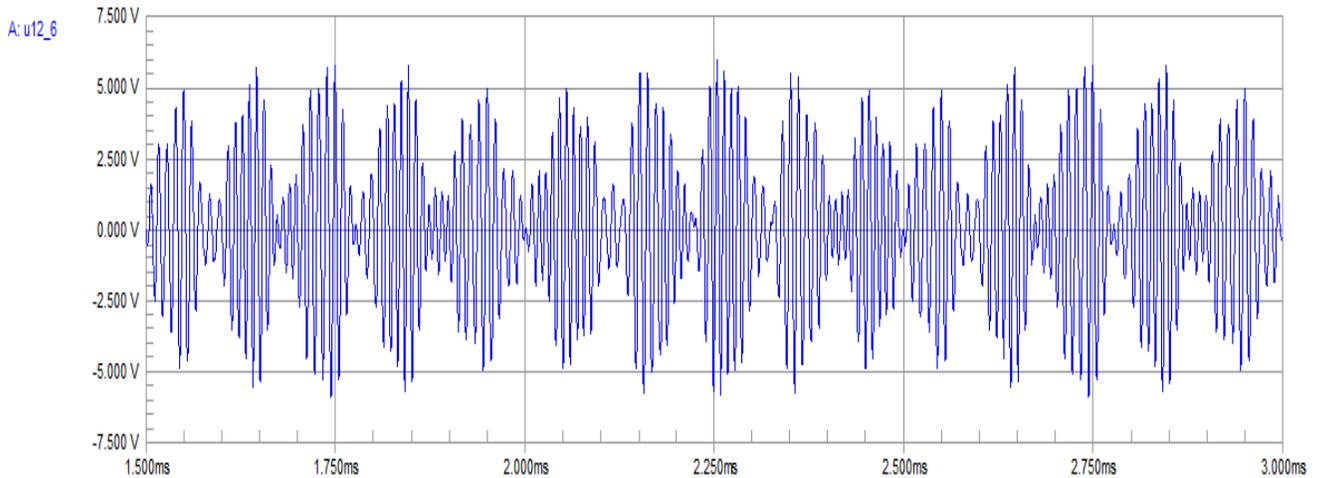


Figura 3.9 Salida Mixer Teórica

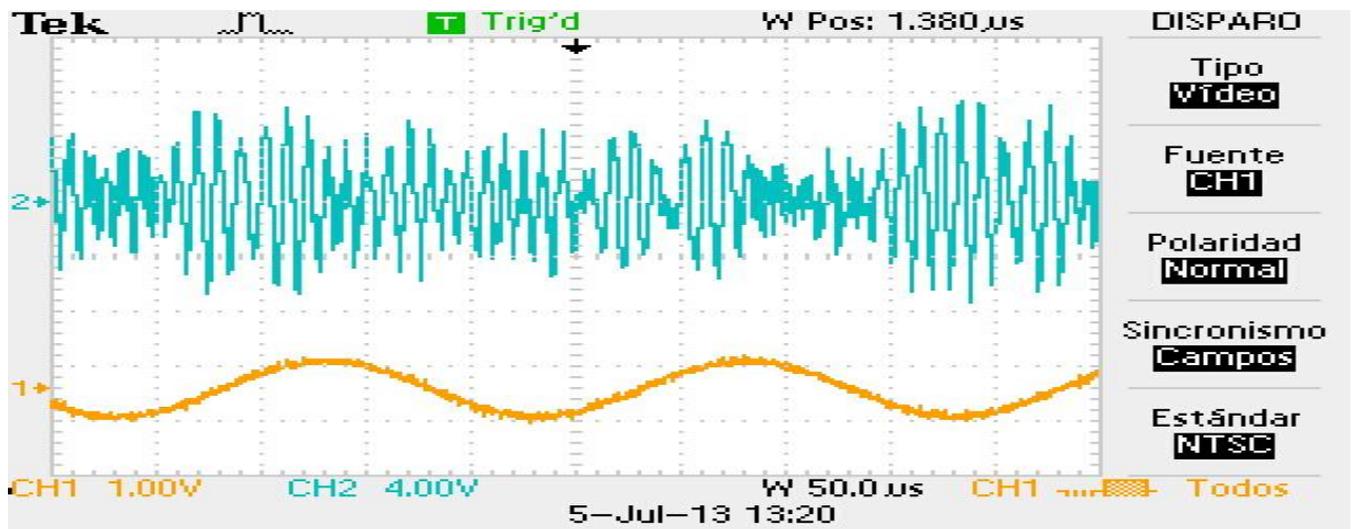


Figura 3.10 Salida Mixer Partica

En la figura 3.9 y 3.10 observamos la señal proveniente del Mixer, en la cual se encuentran nuestras cuatro señales moduladas y desfasadas 90 grados entre sí, de esta manera se logra enviar las cuatro señales de manera simultánea y se cumple con los estándares de la modulación 4QAM

Capítulo 3. Resultados teóricos y experimentales

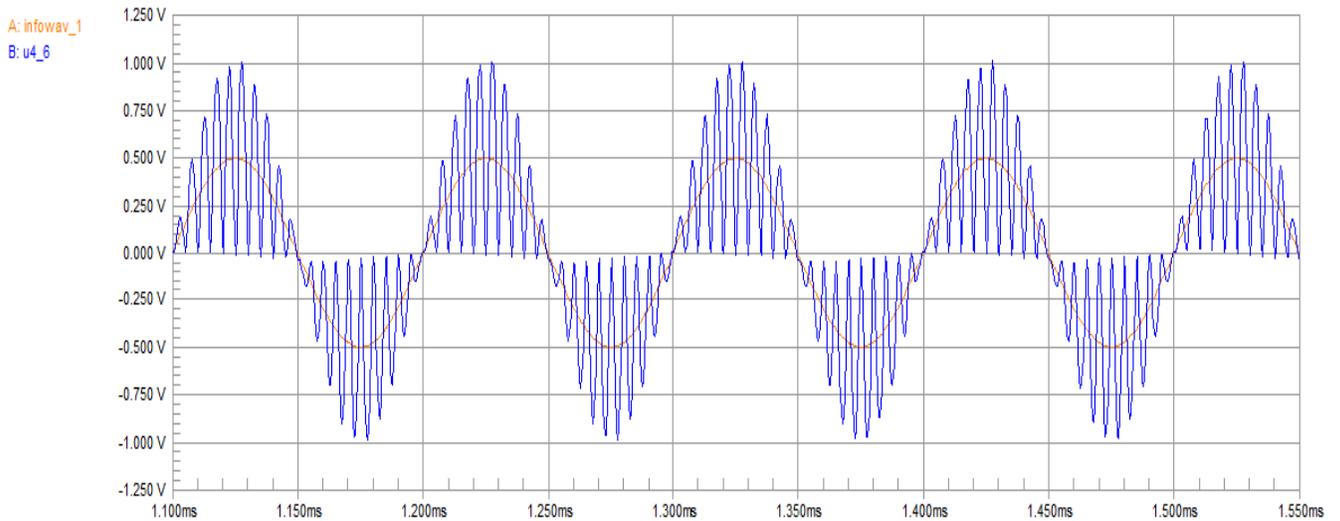


Figura 3.11 Salida Demodulador sin filtrar Vs Onda Moduladora Teórico

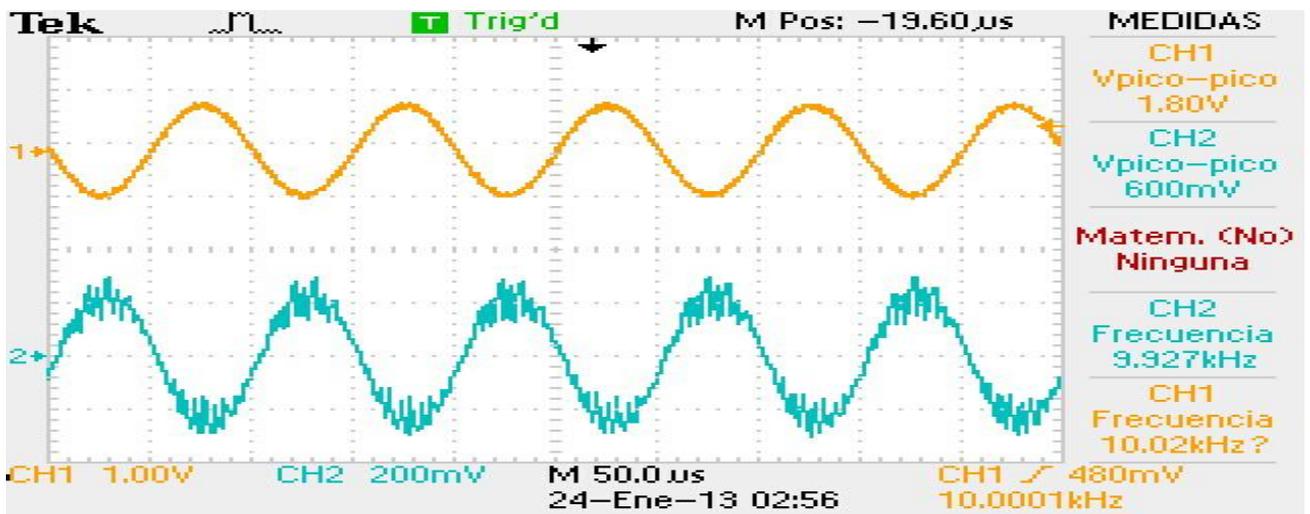


Figura 3.12 Salida Demodulador sin filtrar Vs Onda Moduladora Practica

De la figura 3.11 y 3.12 tenemos la componente principal de la información, la cual es apreciable y su frecuencia también, siendo posible recuperar la información que se quiere transmitir a través del dispositivo mediante filtros pasa bandas, se aprecia también en la figura 3.10 un desfase de aproximadamente 180° el cual fue ajustado a través de un inversor de señal con amplificadores operacionales.

Capítulo 3. Resultados teóricos y experimentales

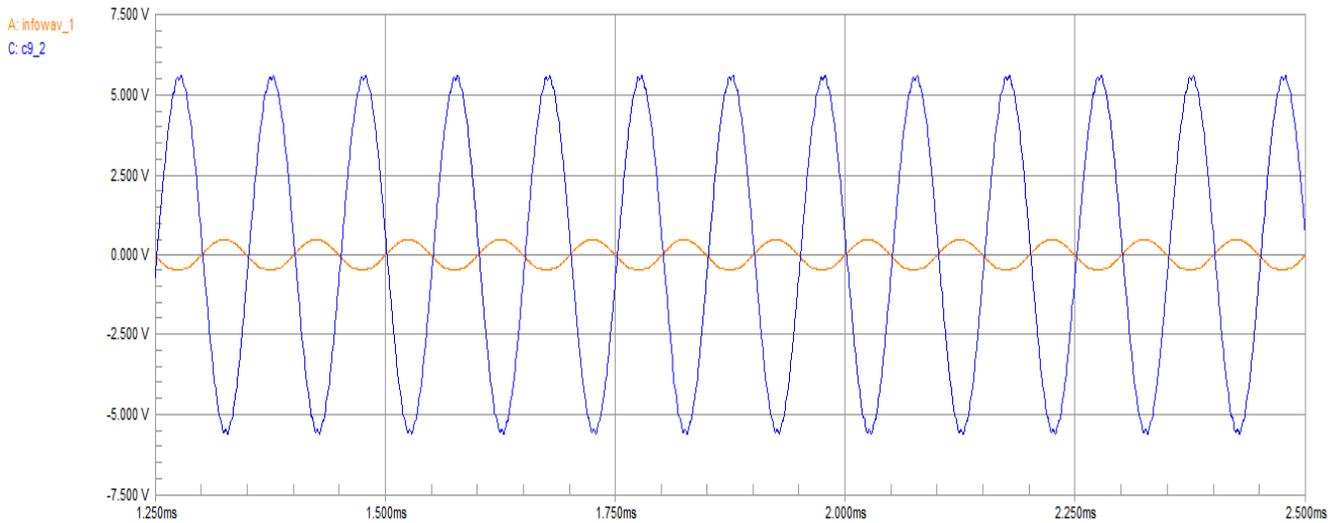


Figura 3.13 Onda de entrada Vs Onda de Salida Teórica

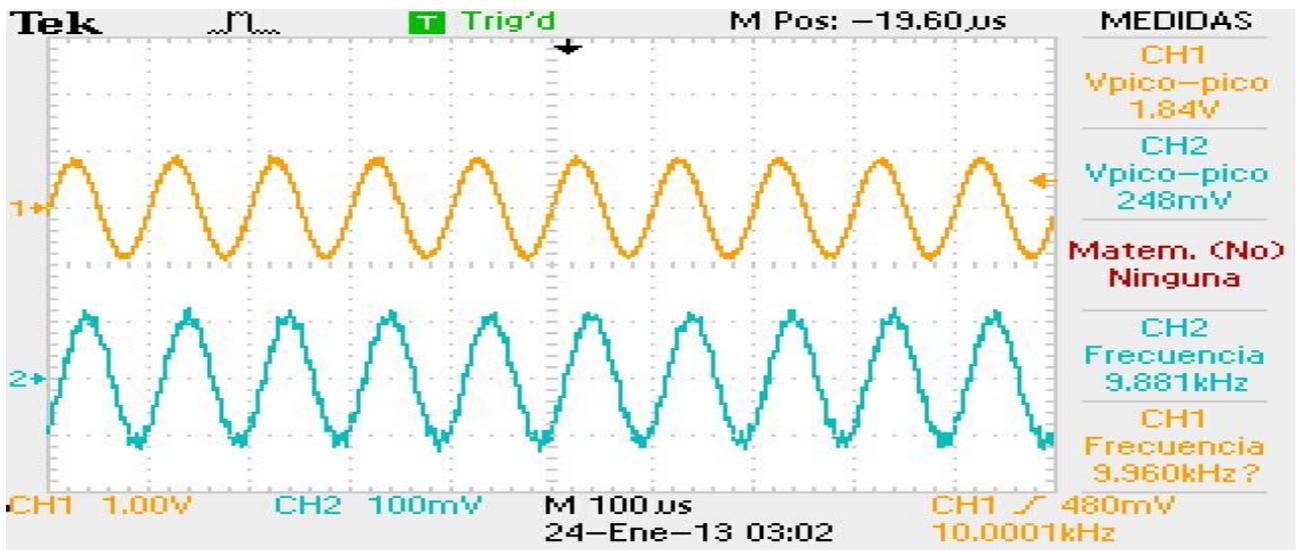


Figura 3.14 Onda de entrada Vs Onda de Salida Practica

En la figura 3.13 observamos que existe un desfase de 180° el cual fue ajustado a través de un inversor de señal con amplificadores operacionales como se puede apreciar en la figura 3.14, también se pueden apreciar las características principales de la onda que son su frecuencia y forma, con esto la información transmitida es la correcta.

Capítulo 3. Resultados teóricos y experimentales

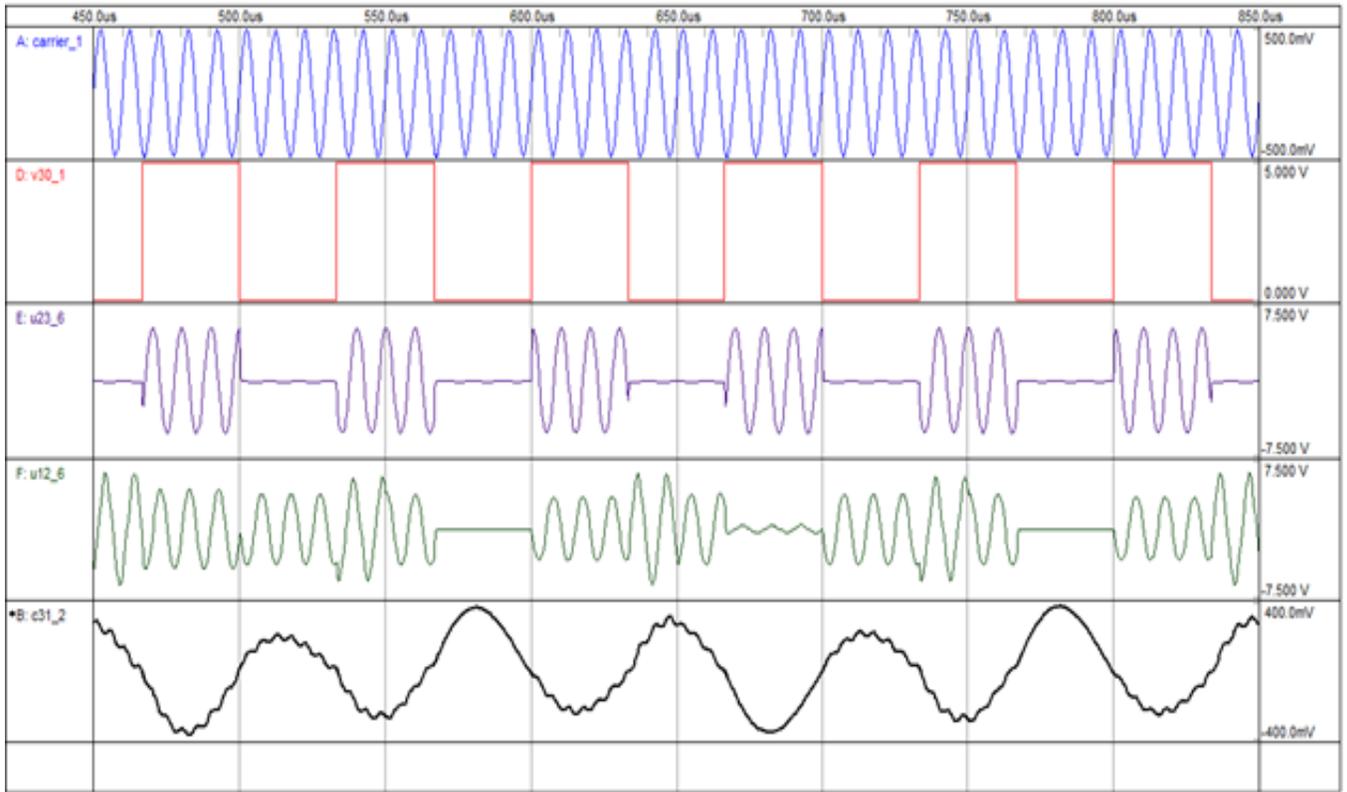


Figura 3.15 Onda de entrada cuadrada vs ondal modulada, salida del Mixer y onda de salida

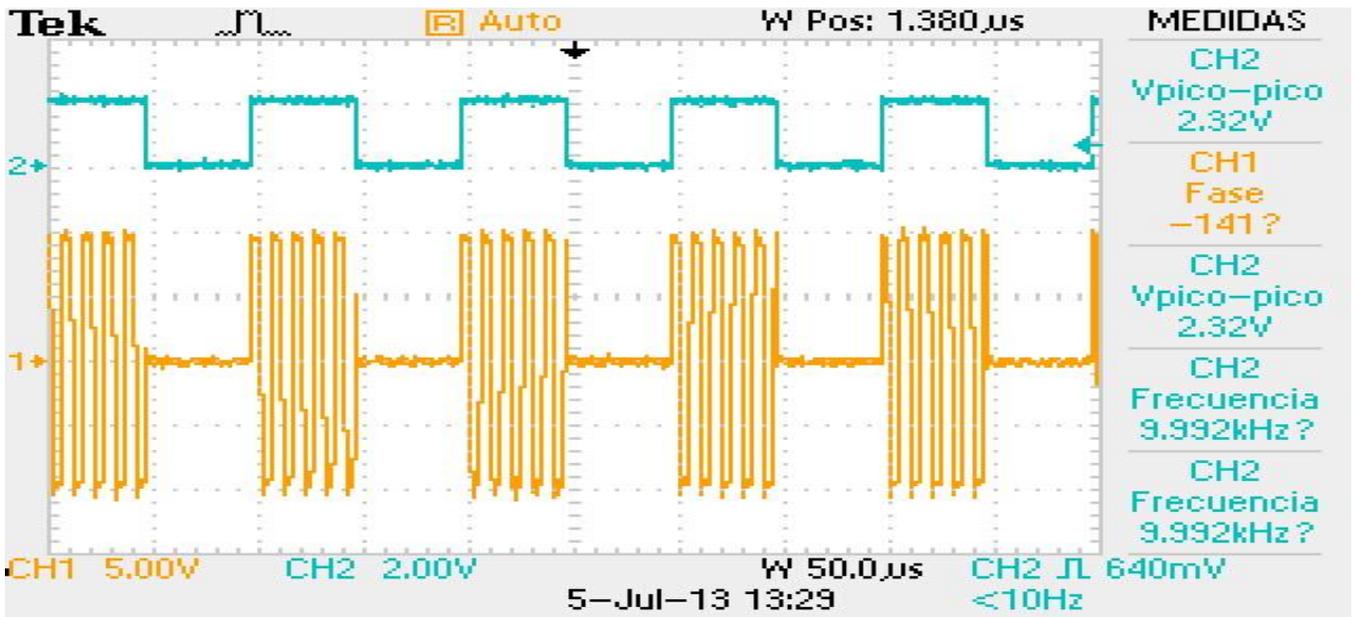


Figura 3.16 Onda de entrada cuadrada vs Onda modulada

Capítulo 3. Resultados teóricos y experimentales

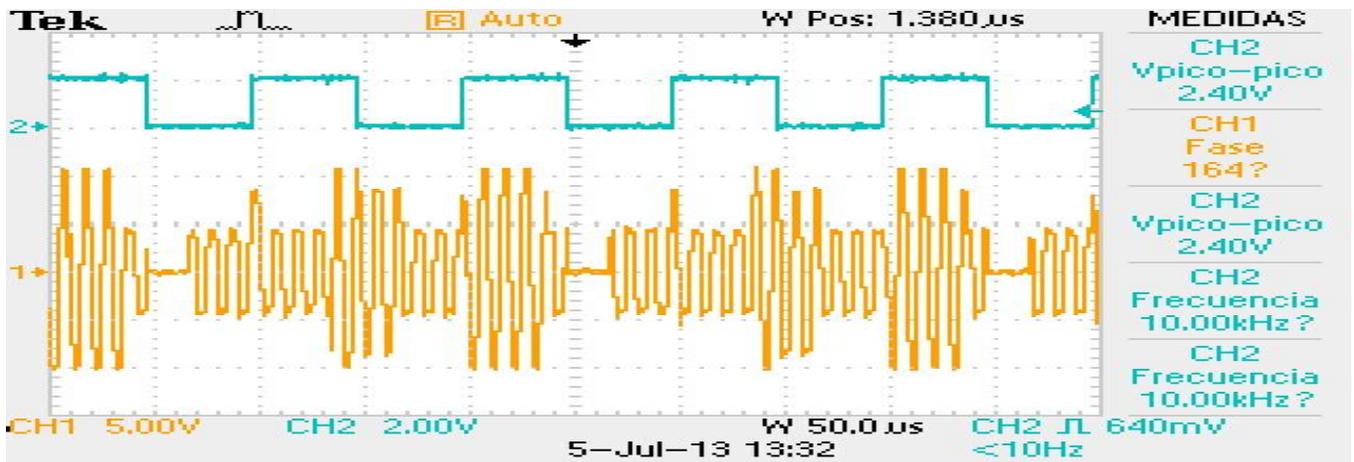


Figura 3.17 Onda de entrada cuadrada vs Salida del Mixer

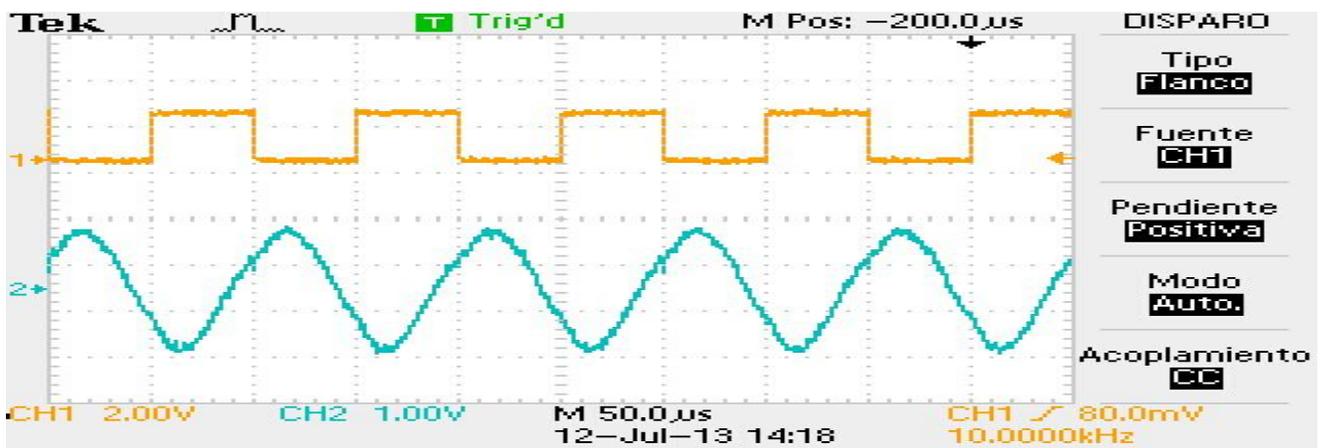


Figura 3.18 Onda de entrada cuadrada vs Onda de salida

En la figura 3.15, 3.16, 3.17 y 3.18 observamos el comportamiento del dispositivo al disponer una onda de entrada cuadrada, observamos el proceso de modulación en el cual existe modulación cuando la señal cuadra está en un uno, y en el cero solo se observa una señal continua, esto debido a que en el proceso de modulación am se podría decir que lo que tenemos es una multiplicación de dos señales en amplitud por lo que al multiplicar la carrier por una onda de amplitud cero no existirá modulación. En la salida observamos que esta señal es una señal senoidal por lo que la información enviada no será la misma que la entregada, este problema se presenta debido a los filtros implementados en la recuperación solo aplican para la onda senoidal y si se quiere recuperar la onda cuadrada se deben utilizar filtros digitales

Capítulo 3. Resultados teóricos y experimentales

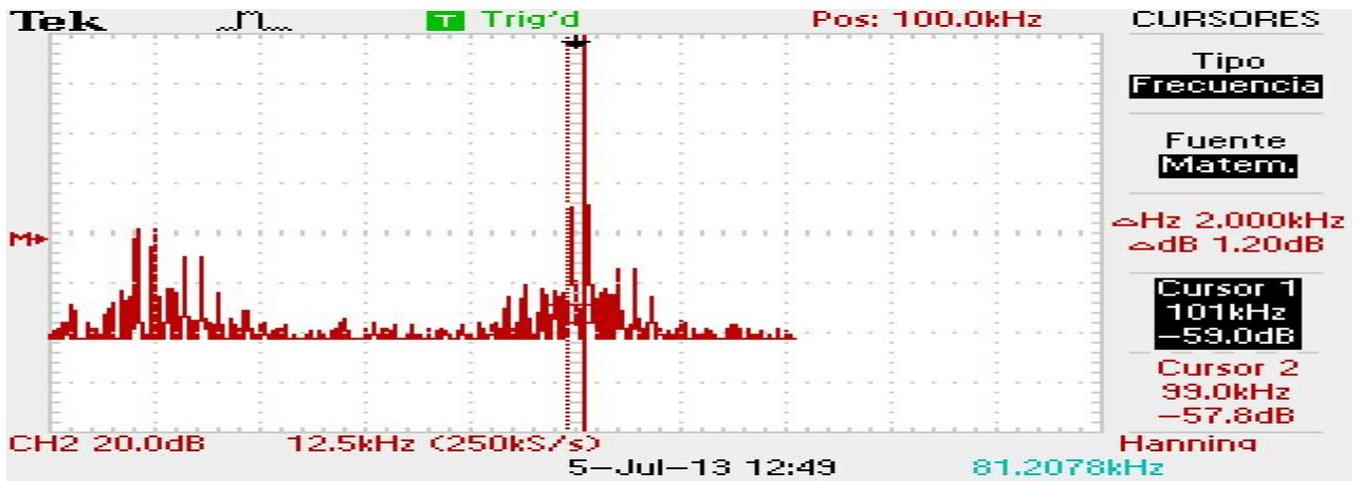


Figura 3.19 Espectro de frecuencia moduladora a 1KHz

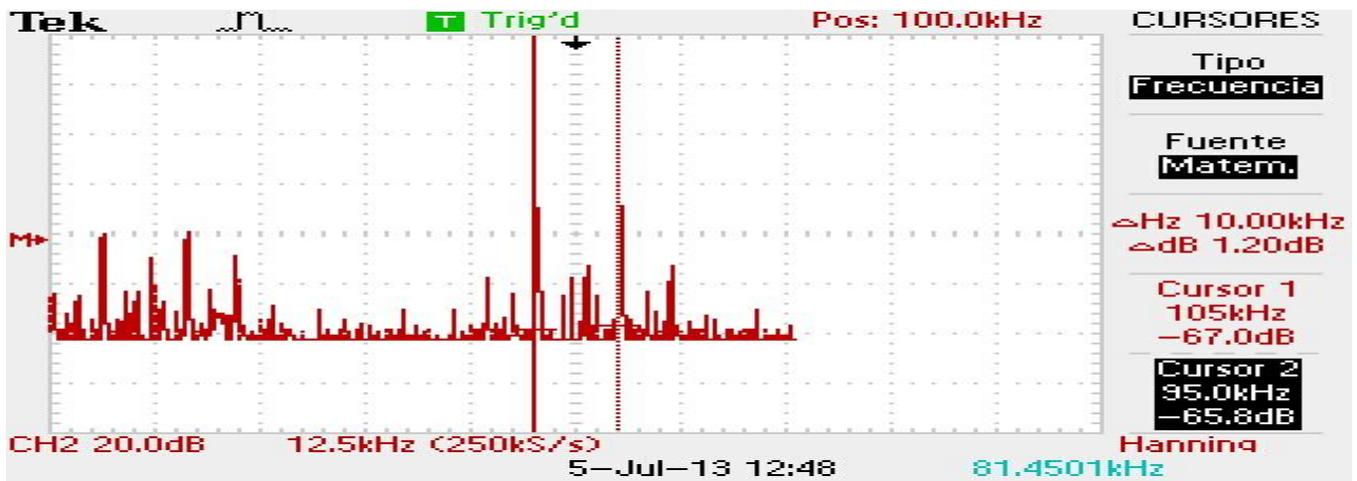


Figura 3.20 Espectro de frecuencia moduladora a 5KHz

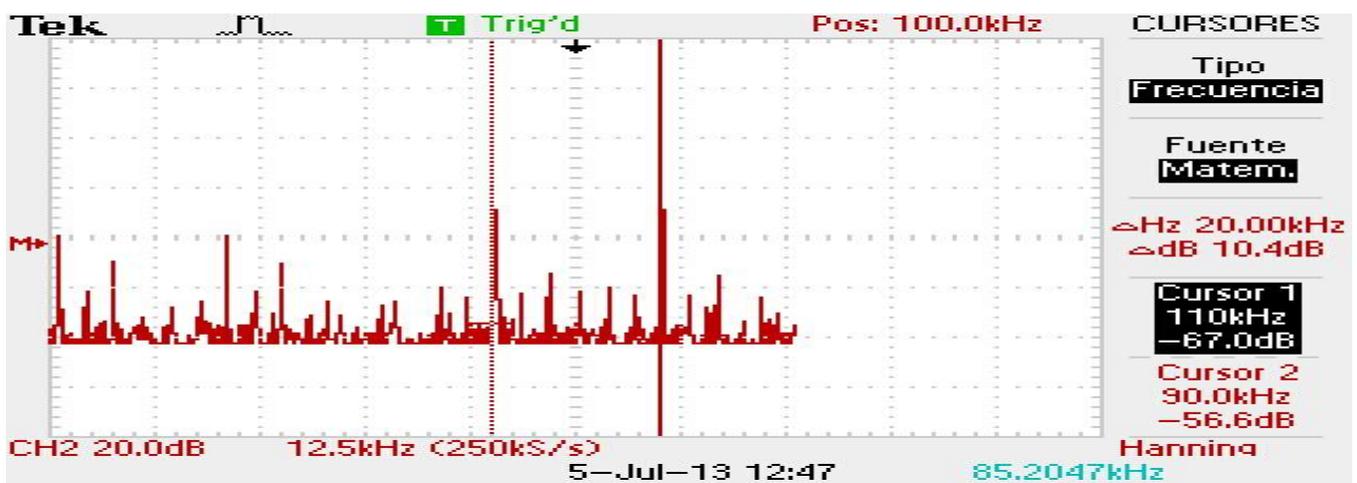


Figura 3.21 Espectro de frecuencia moduladora a 10KHz

Capítulo 3. Resultados teóricos y experimentales

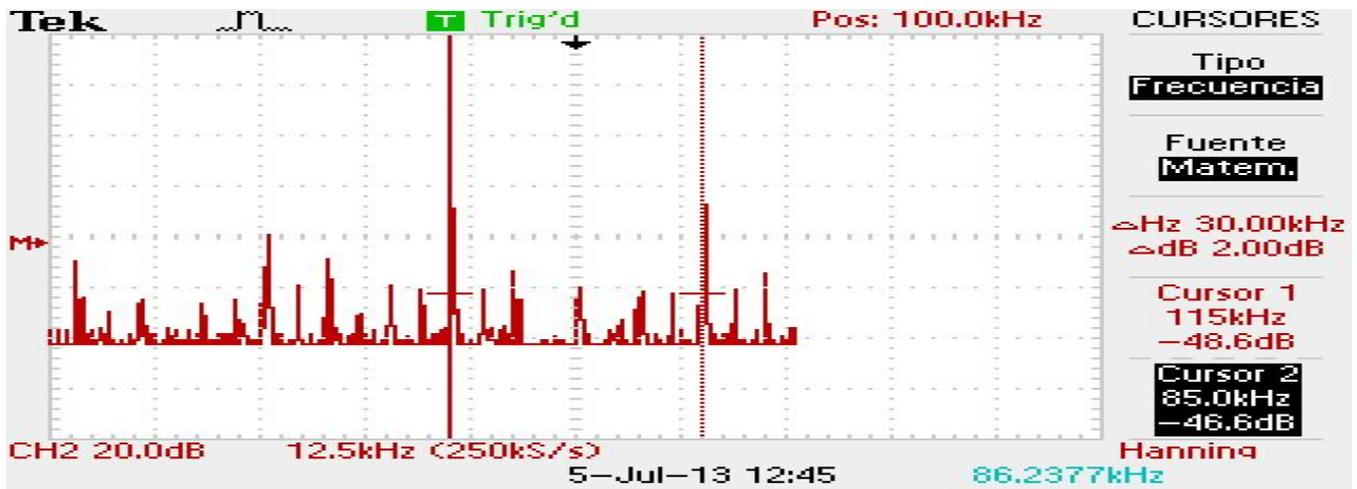


Figura 3.22 Espectro de frecuencia moduladora a 15KHz

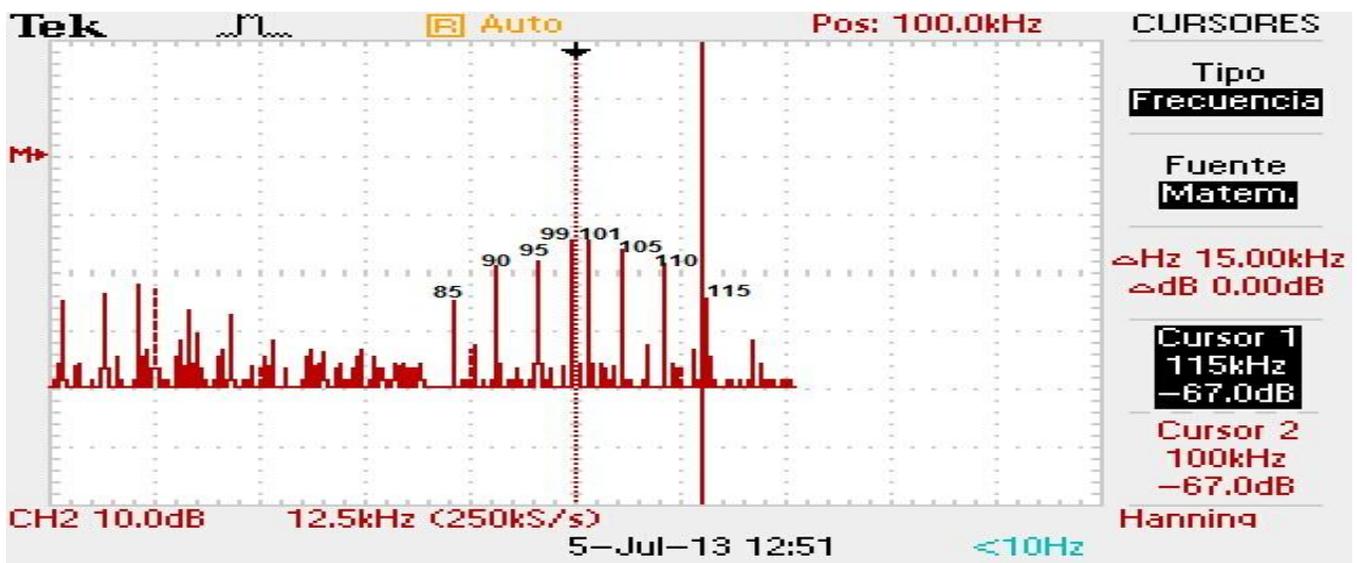


Figura 3.23 Espectro de frecuencia moduladora a 10KHz

En las figuras 3.19, 3.20, 3.21, y 3.22 se puede apreciar el espectro de frecuencia de las señales moduladoras de 1 KHz, 5 KHz, 10 KHz y 15 KHz, recordando que el tipo de modulación utilizado es doble banda lateral con portadora suprimida observamos los dos picos en 99 KHz y 101 KHz para la moduladora de 1 KHz, en 95 KHz y 105 KHz para la de 5 KHz, en 90 KHz y 110 KHz para la de 10 KHz y en 85 KHz y 115 KHz para la de 15 KHz. En la figura 3.23 apreciamos el espectro a la salida del Mixer en el cual se aprecia con claridad los espectros de todas las señales moduladoras.

Capítulo 3. Resultados teóricos y experimentales

3.2 Modulación PWM

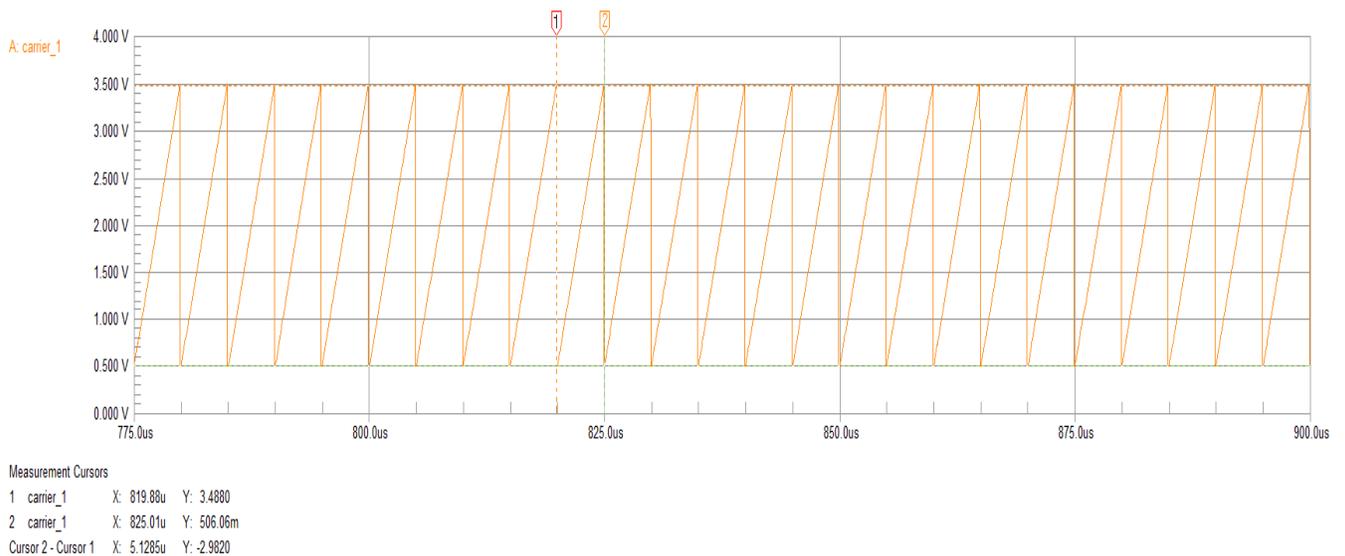


Figura 3.24 Onda portadora triangular Teórica

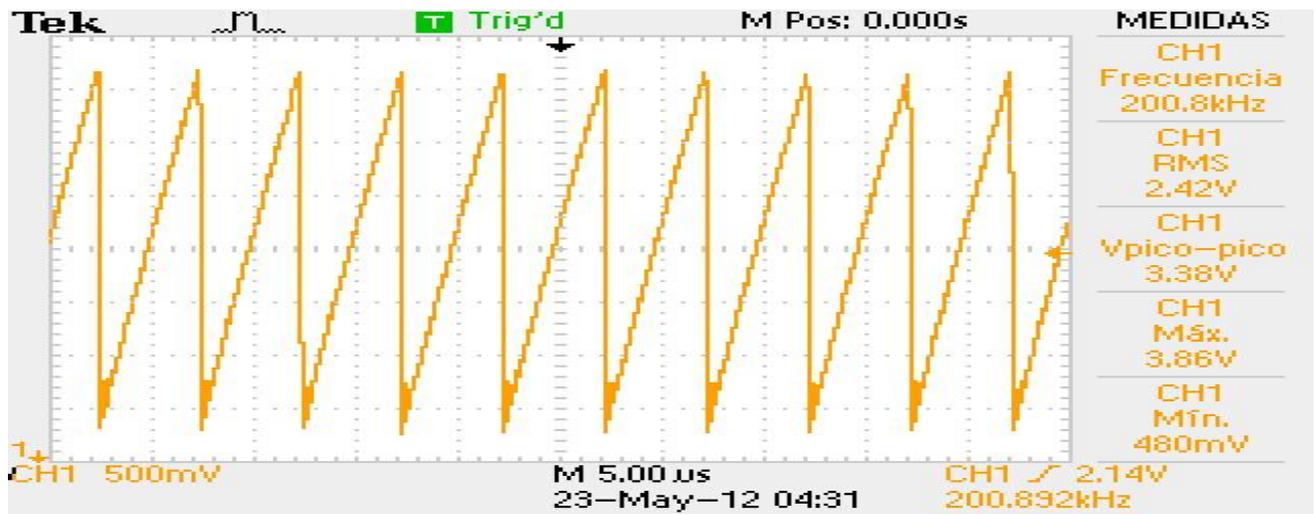


Figura 3.25 Onda portadora triangular Practica

De la figura 3.24 y 3.25 observamos la total simetría que ahí en la onda triangular, necesaria para el correcto funcionamiento en la modulación.

Capítulo 3. Resultados teóricos y experimentales

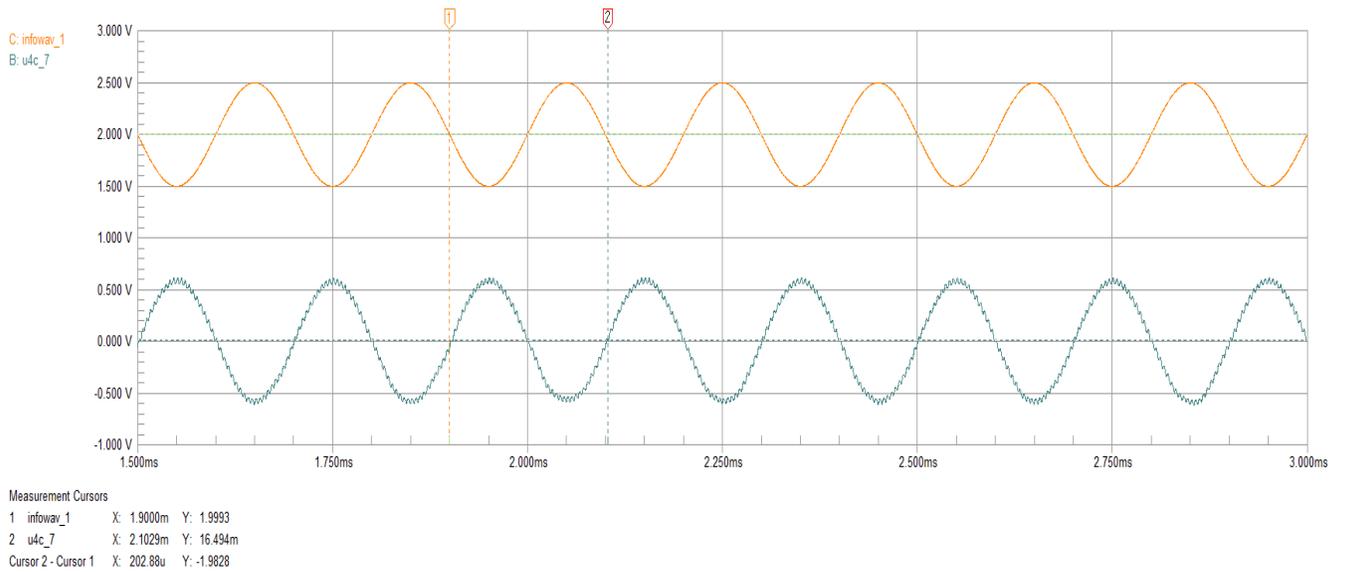


Figura 3.26 Onda de Entrada Vs Onda de Salida Teórica

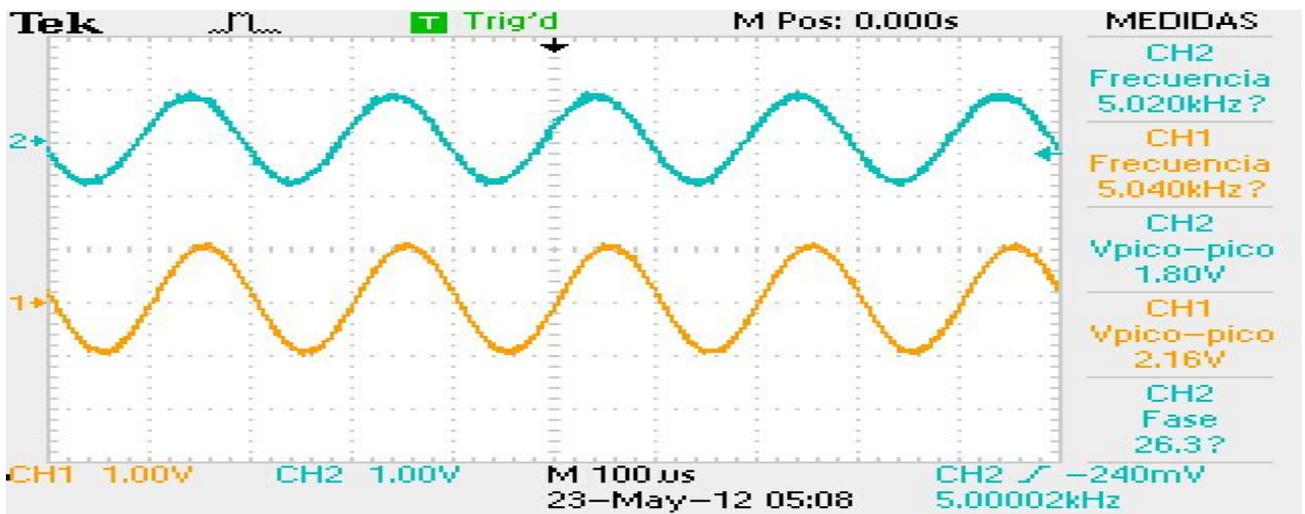


Figura 3.27 Onda de Entrada Vs Onda de Salida Practica

En la figura 3.26 observamos que existe un desfase de 180° el cual fue ajustado a través de un inversor de señal con amplificadores operacionales como se puede observaren la figura 3.27, también se pueden apreciar las características principales de la onda que son su frecuencia y forma, con esto la información transmitida es la correcta.

Capítulo 3. Resultados teóricos y experimentales

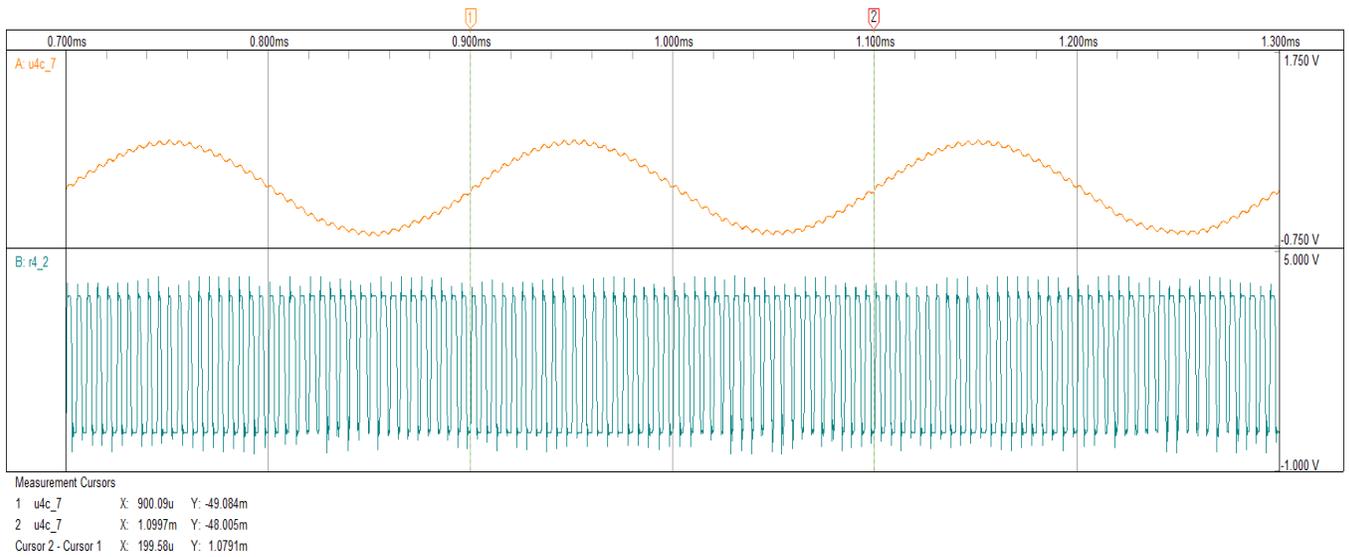


Figura 3.28 Onda PWM sin Filtrar Vs Onda de Salida Teórica

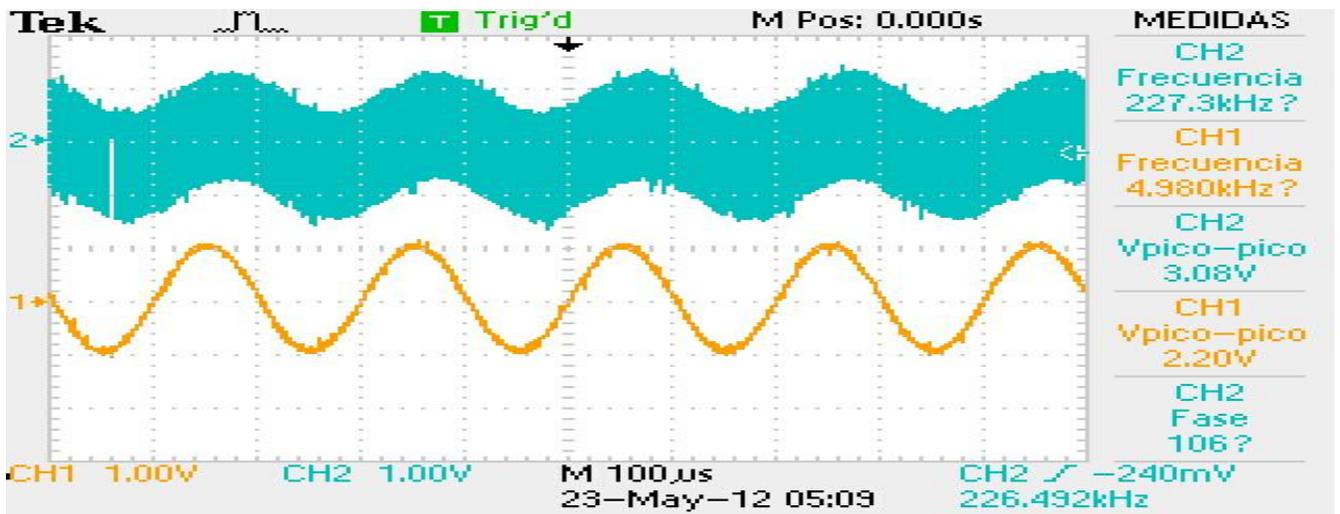


Figura 3.29 Onda PWM sin Filtrar Vs Onda de salida Practica

De la figura 3.28 y 3.29 podemos observar el tren de pulsos de la onda PWM y las variaciones en el ancho de este antes de ser filtrado, acorde con los ciclos de la onda de salida.

Capítulo 3. Resultados teóricos y experimentales



Figura 3.30 Onda PWM Teórica

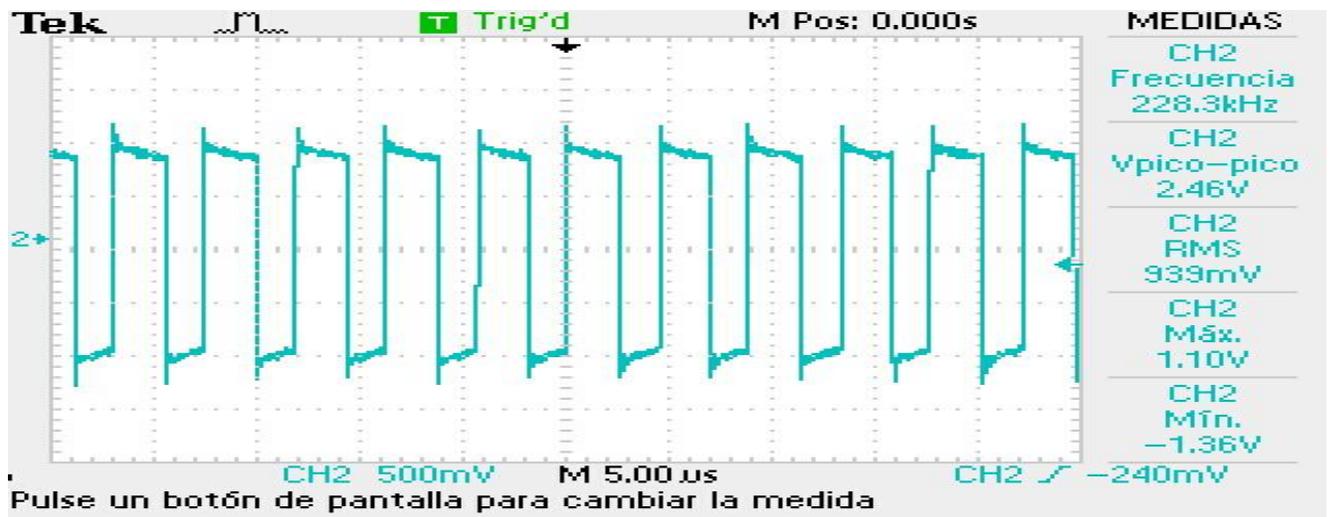


Figura 3.31 Onda PWM Práctica

En la figura 3.30 y 3.31 observamos la variación en la anchura de los pulsos de la onda PWM.

Capítulo 4. Prácticas de laboratorio

4. PRACTICAS DE LABORATORIO

4.1 PRACTICA 1

MODULACIÓN AM (DSB – SC)

1. Elementos necesarios
 - 1.1. Osciloscopio
 - 1.2. Generador de señales
 - 1.3. Fuente DC
 - 1.4. Voltímetro

2. Calibración de Equipos
 - 2.1. Osciloscopio
 - 2.2. Generador de señales, seleccione una frecuencia de 1khz y verifique a través del osciloscopio, a su vez el voltaje de la señal debe ser de 150 mVpp.

3. Calibración del dispositivo
 - 3.1. Ajustar frecuencias del dispositivo, gire la perilla de frecuencia de carrier en sentido horario hasta obtener una frecuencia de 100KHz, en el T.P. 07 hasta el T.P. 10 con S.W. en posición 0.
4. Modulación 4QAM
 - 4.1. Conecte el cable con terminales BNC en la entrada GEN. 01 y verifique con el osciloscopio la información en el T.P. 01.
 - 4.2. Cierre el interruptor S.W. 01, en la posición I, seleccione la salida 4 en el selector 1 y verifique con el osciloscopio la señal en el T.P. 07, describa brevemente la señal que aparece en ese punto. Frecuencia de Envolvente ___KHz ; Frecuencia de Carrier ___KHz. Evidencie

Capítulo 4. Prácticas de laboratorio

- 4.3. Registre con ayuda del osciloscopio, el espectro de frecuencias de la señal generada en el punto 4.2, de una breve descripción de la misma y evidencie.

5. Repita los pasos anteriores en las demás entradas variando la frecuencia en el generador a:

GEN. 02: 5KHz; GEN. 03: 10KHz; GEN. 04: 15 KHz.

6. Demodulación

- 6.1. Seleccione la salida 5 del selector 1 y con ayuda del osciloscopio describa que tipo de señal se obtiene en el T.P 06. Descríbala y evidencie.

- 6.2. Seleccione en el selector 3 ON izquierda y evidencie las señales obtenidas en Out 01 hasta Out 04.

- 6.3. Compare y concluya las señales obtenidas en el inciso anterior con las señales de entrada.

7. Implementar Amplificador

- 7.1. Conecte una fuente de 12Vdc a las bornes de alimentación del amplificador.

Capítulo 4. Prácticas de laboratorio

7.2. Coloque el selector 2, en la posición 1 hasta 5 y aumente de manera simultánea, la ganancia del receptor y la ganancia del Amplificador hasta obtener un nivel audible.

7.3. Varíe la frecuencia de carrier y describa lo sucedido.

8. Repita la práctica con una señal cuadrada de igual frecuencia y voltaje a la aplicada en los incisos anteriores, dibuje el resultado y describa lo sucedido en la modulación.

9. Tome nota de las gráficas, seleccione una y dibuje de manera precisa, teniendo en cuenta frecuencia y voltaje de la señal. Diga las diferencias relevantes entre ellas.

4.2 PRACTICA 2

Transmisión y Recepción Por Fibra Óptica

1. Elementos necesarios

- 1.1. Osciloscopio
- 1.2. Generador de señales
- 1.3. Fuente DC
- 1.4. Voltímetro

2. Calibración de Equipos

- 2.1. Osciloscopio
- 2.2. Generador de señales, seleccione una frecuencia de 1khz y verifique a través del osciloscopio, a su vez el voltaje de la señal debe ser de 150 mVpp.

Capítulo 4. Prácticas de laboratorio

3. Modulación PWM

- 3.1. Conecte el cable con terminales BNC en la entrada GEN. 01 y verifique con el osciloscopio la información en el T.P. 01.
- 3.2. Cierre el interruptor S.W. 01, en la posición II, seleccione la salida 4 en el selector 1 y verifique con el osciloscopio la señal en el T.P. 06, describa brevemente la señal que aparece en ese punto ¿qué sucede con la señal de entrada? Describa la señal que se observa en el osciloscopio, que tipo de modulación esta implementada para este caso.

4. Verificar información en onda de salida

- 4.1. Coloque el selector 1, en la posición 4, conecte el cable de fibra óptica y verifique la señal del T.P. 05 y T.P. 12.
- 4.2. Con el osciloscopio mida y registre el tiempo de retraso y las diferencias entre las señales.
- 4.3. Separe un poco el cable de la terminal del receptor de fibra óptica y registre una instantánea en el osciloscopio, describa la señal al deformarse y corrobore ese dato con los tipos de atenuación de señal en los casos de trasmisión por fibra óptica.

- 4.4. Forma de onda, Dibuje la señal que aparece en la instantánea del punto anterior.
- 4.5. Medir y registrar en un cuadro de excel, con el osciloscopio el THDi sal y comparar con THDi in. Esto es posible al colocar el canal 1 del osciloscopio en el T.P. 01 para el caso de la entrada y el canal 2 del osciloscopio en out 01 y hallar el error porcentual.

Capítulo 4. Prácticas de laboratorio

5. Implementar Amplificador

- 5.1. Conecte una fuente de 12Vdc a las bornes de alimentación del amplificador.
- 5.2. Coloque el selector 2, en la posición 1 hasta 5, y aumente de manera simultánea, la ganancia del receptor y la ganancia del Amplificador hasta obtener un nivel audible.
- 5.3. Varíe la frecuencia de carrier y describa lo sucedido.

4.3 PRACTICA 3

MODULACIÓN 4QAM A TRAVÉS DE FIBRA ÓPTICA

✓ GENERADOR DE PORTADORAS

1. Ajustar frecuencias del dispositivo, gire la perilla de frecuencia de carrier en sentido horario hasta obtener una frecuencia de 100KHz, en el T.P. 07. (ingresando en GEN. 01 una onda cuadrada de 1 Hz con S.W. 01 en posición I)
2. Verificar desfase entre ondas portadoras el cual debe ser 90° entre ellas, esto se comprueba en los T.P. 08 hasta el T.P. 09 con S.W. (ingresando en GEN. 01 una onda cuadrada de 1 Hz con S.W. 01 en posición I)

✓ MEZCLADOR (4QAM)

1. Observar salida del sumador; conectar un generador de señales a cada una de las entradas de generadores, (GEN. 01 1KHz, GEN. 02 5KHz, GEN. 03 10KHz y GEN. 04 15KHz con ondas senoidales), posicione todos los S.W. en posición I. Gire el selector 1 hasta la posición 5 y registre con ayuda de un osciloscopio la señal del sumador en el T.P. 06. Tome una instantánea en el osciloscopio y describa brevemente la señal y que patrones logra ver en ella.

Capítulo 4. Prácticas de laboratorio

-
-
2. Mida los niveles de THDi de la señal correspondiente al inciso anterior y verifique cuales son las frecuencias armónicas que interactúan en ella. Diga cuales son partiendo del resultado que arroja el osciloscopio.

-
-
-
3. Sitúe el selector 3 en la posición ON derecha y conecte el cable de fibra óptica.

✓ DEMODULADOR (4QAM)

1. Conecte un cable con terminales BNC, al terminal de salida Out 01, identifique la señal en el canal 1 del osciloscopio. Con el canal 2 del osciloscopio diríjase al T.P. 01, describa las diferencias entre las señales de entrada y la señal recuperada o señal de salida. Repita esto con cada entrada y salida.

-
-
-
-
2. Mida el desfase entre las señales de entrada y salida, dibuje las señales en papel milimetrado.
 3. Mida los niveles de THDi en la señal de salida, describa lo que sucede con la señal de salida y que niveles de contaminación por Carrier que posee, según el osciloscopio.

Capítulo 4. Prácticas de laboratorio

✓ IMPLEMENTAR AMPLIFICADOR

1. Conecte una fuente de 12Vdc a las bornes de alimentación del amplificador.
2. Coloque el selector 2, en la posición 1 hasta 4, y aumente de manera simultánea, la ganancia del receptor y la ganancia del Amplificador hasta obtener un nivel audible.
3. Varíe la frecuencia de carrier y describa lo sucedido.

RESULTADOS FINALES

- ✓ Conclusiones y observaciones
- ✓ Bibliografía

NOTA: En el informe solo se incluirán datos experimentales

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- **[1]** http://es.wikipedia.org/wiki/Comunicaci%C3%B3n_por_fibra_%C3%B3ptica
- **[2]** <http://es.scribd.com/doc/56763125/fibra-optica-implementacion>
- **[3]** http://www.itlalaguna.edu.mx/academico/carreras/electronica/opteca/OPTOPDF7_archivos/UNIDAD7TEMA3.PDF
- **[4]** <http://proton.ucting.udg.mx/somi/memorias/TELECOM/Tel-2.pdf>
- **[5]** <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/816979>
- **[6]** <http://www.angelfire.com/al2/Comunicaciones/Laboratorio/ci.html>
- **[7]** <http://oghdez.webs.ull.es/scd/pdf/Modulador%20y%20demodulador%20de%20amplitud.pdf>
- **[8]** <http://quantum.cucei.udg.mx/~cbecerra/pasban.html>
- **[9]** <http://www.ramarecords.com/eop/Etapa%20de%20potencia%20para%20un%20motor%20de%20corriente%20continua.pdf>
- **[10]** <http://www.calculatoredge.com/electronics/sk%20low%20pass.htm>

ANEXO A

XR-2206



DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of *Figure 2* $V_{CC} = 12V$, $T_A = 25^\circ C$, $C = 0.01\mu F$, $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, $R_3 = 25k\Omega$
Unless Otherwise Specified. S_1 open for triangle, closed for sine wave.

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
General Characteristics								
Single Supply Voltage	10		26	10		26	V	
Split-Supply Voltage	±5		±13	±5		±13	V	
Supply Current		12	17		14	20	mA	$R_1 \geq 10k\Omega$
Oscillator Section								
Max. Operating Frequency	0.5	1		0.5	1		MHz	$C = 1000pF$, $R_1 = 1k\Omega$
Lowest Practical Frequency		0.01			0.01		Hz	$C = 50\mu F$, $R_1 = 2M\Omega$
Frequency Accuracy		±1	±4		±2		% of f_o	$f_o = 1/R_1C$
Temperature Stability		±10	±50		±20		ppm/°C	$0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$ $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Frequency								
Sine Wave Amplitude Stability ²		4800			4800		ppm/°C	
Supply Sensitivity		0.01	0.1		0.01		%/V	$V_{LOW} = 10V$, $V_{HIGH} = 20V$, $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sweep Range	1000:1	2000:1			2000:1		$f_H = f_L$	$f_H @ R_1 = 1k\Omega$ $f_L @ R_1 = 2M\Omega$
Sweep Linearity								
10:1 Sweep		2			2		%	$f_L = 1kHz$, $f_H = 10kHz$
1000:1 Sweep		8			8		%	$f_L = 100Hz$, $f_H = 100kHz$
FM Distortion		0.1			0.1		%	±10% Deviation
Recommended Timing Components								
Timing Capacitor: C	0.001		100	0.001		100	μF	<i>Figure 5</i>
Timing Resistors: R_1 & R_2	1		2000	1		2000	kΩ	
Triangle Sine Wave Output¹								
<i>Figure 3</i>								
Triangle Amplitude		160			160		mV/kΩ	<i>Figure 2</i> , S_1 Open
Sine Wave Amplitude	40	60	80		60		mV/kΩ	<i>Figure 2</i> , S_1 Closed
Max. Output Swing		6			6		Vp-p	
Output Impedance		600			600		Ω	
Triangle Linearity		1			1		%	
Amplitude Stability		0.5			0.5		dB	For 1000:1 Sweep
Sine Wave Distortion								
Without Adjustment		2.5			2.5		%	$R_1 = 30k\Omega$
With Adjustment		0.4	1.0		0.5	1.5	%	See <i>Figure 7</i> and <i>Figure 8</i>

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3 , on Pin 3. See *Figure 3*.

² For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Amplitude Modulation								
Input Impedance	50	100		50	100		k Ω	
Modulation Range		100			100		%	
Carrier Suppression		55			55		dB	
Linearity		2			2		%	For 95% modulation
Square-Wave Output								
Amplitude		12			12		V _{p-p}	Measured at Pin 11.
Rise Time		250			250		ns	C _L = 10pF
Fall Time		50			50		ns	C _L = 10pF
Saturation Voltage		0.2	0.4		0.2	0.6	V	I _L = 2mA
Leakage Current		0.1	20		0.1	100	μ A	V _{CC} = 26V
FSK Keying Level (Pin 9)	0.8	1.4	2.4	0.8	1.4	2.4	V	See section on circuit controls
Reference Bypass Voltage	2.9	3.1	3.3	2.5	3	3.5	V	Measured at Pin 10.

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R₃, on Pin 3. See Figure 3.

² For maximum amplitude stability, R₃ should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

Specifications are subject to change without notice

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply 26V
 Power Dissipation 750mW
 Derate Above 25°C 5mW/°C

Total Timing Current 6mA
 Storage Temperature -65°C to +150°C

SYSTEM DESCRIPTION

The XR-2206 is comprised of four functional blocks; a voltage-controlled oscillator (VCO), an analog multiplier and sine-shaper; a unity gain buffer amplifier; and a set of current switches.

The VCO produces an output frequency proportional to an input current, which is set by a resistor from the timing

terminals to ground. With two timing pins, two discrete output frequencies can be independently produced for FSK generation applications by using the FSK input control pin. This input controls the current switches which select one of the timing resistor currents, and routes it to the VCO.

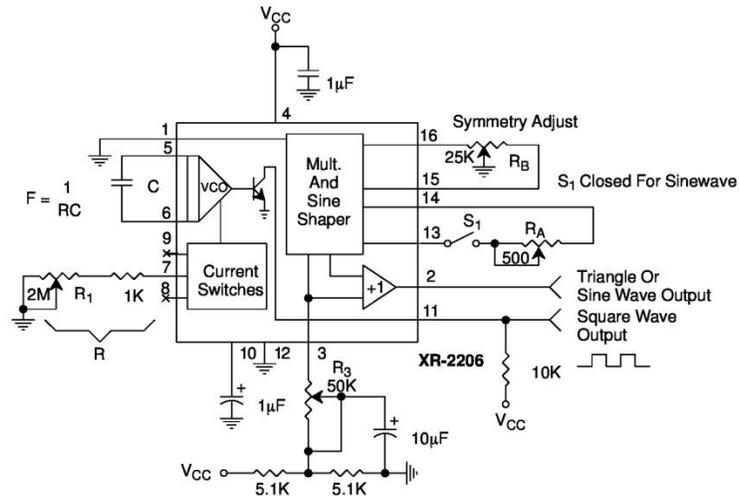


Figure 12. Circuit for Sine Wave Generation with Minimum Harmonic Distortion.
(R₃ Determines Output Swing - See Figure 3)

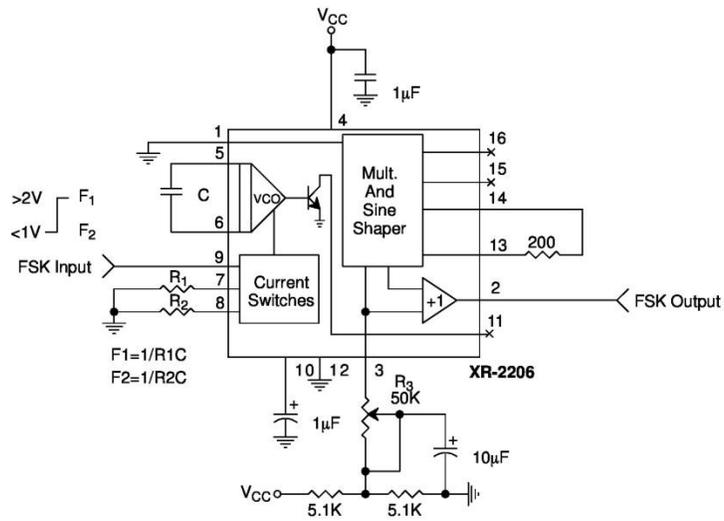


Figure 13. Sinusoidal FSK Generator

ANEXO B

MC1496, B

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Applied Voltage (V6 – V8, V10 – V1, V12 – V8, V12 – V10, V8 – V4, V8 – V1, V10 – V4, V6 – V10, V2 – V5, V3 – V5)	ΔV	30	Vdc
Differential Input Signal	V8 – V10 V4 – V1	+5.0 $\pm(5 + 15R_{\theta})$	Vdc
Maximum Bias Current	I_5	10	mA
Thermal Resistance, Junction-to-Air Plastic Dual In-Line Package	$R_{\theta JA}$	100	$^\circ\text{C/W}$
Operating Temperature Range	T_A	0 to +70	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	–65 to +150	$^\circ\text{C}$

NOTE: ESD data available upon request.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 12\text{ Vdc}$, $V_{EE} = -8.0\text{ Vdc}$, $I_5 = 1.0\text{ mAdc}$, $R_L = 3.9\text{ k}\Omega$, $R_{\theta} = 1.0\text{ k}\Omega$, $T_A = T_{low}$ to T_{high} , all input and output characteristics are single-ended, unless otherwise noted.)

Characteristic	Fig.	Note	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Carrier Feedthrough $V_C = 60\text{ mVrms}$ sine wave and offset adjusted to zero $f_C = 1.0\text{ kHz}$ $V_C = 300\text{ mVpp}$ square wave: offset adjusted to zero $f_C = 1.0\text{ kHz}$ offset not adjusted $f_C = 1.0\text{ kHz}$	5	1	V_{CFT}	–	40 140	–	μVrms mVrms
Carrier Suppression $f_S = 10\text{ kHz}$, 300 mVrms $f_C = 500\text{ kHz}$, 60 mVrms sine wave $f_C = 10\text{ MHz}$, 60 mVrms sine wave	5	2	V_{CS}	40 –	65 50	–	dB k
Transadmittance Bandwidth (Magnitude) ($R_L = 50\ \Omega$) Carrier Input Port, $V_C = 60\text{ mVrms}$ sine wave $f_S = 1.0\text{ kHz}$, 300 mVrms sine wave Signal Input Port, $V_S = 300\text{ mVrms}$ sine wave $ V_C = 0.5\text{ Vdc}$	8	8	BW_{3dB}	–	300 80	–	MHz
Signal Gain ($V_S = 100\text{ mVrms}$, $f = 1.0\text{ kHz}$; $ V_C = 0.5\text{ Vdc}$)	10	3	A_{VS}	2.5	3.5	–	V/V
Single-Ended Input Impedance, Signal Port, $f = 5.0\text{ MHz}$ Parallel Input Resistance Parallel Input Capacitance	6	–	r_{ip} c_{ip}	–	200 2.0	–	k Ω pF
Single-Ended Output Impedance, $f = 10\text{ MHz}$ Parallel Output Resistance Parallel Output Capacitance	6	–	r_{op} c_{oo}	–	40 5.0	–	k Ω pF
Input Bias Current $I_{bS} = \frac{I_1 + I_4}{2}$; $I_{bC} = \frac{I_8 + I_{10}}{2}$	7	–	I_{bS} I_{bC}	–	12 12	30 30	μA
Input Offset Current $I_{iOS} = I_{11} - I_{14}$; $I_{iOC} = I_8 - I_{10}$	7	–	$ I_{iOS} $ $ I_{iOC} $	–	0.7 0.7	7.0 7.0	μA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current ($T_A = -55^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$)	7	–	$ TC_{iio} $	–	2.0	–	nA/ $^\circ\text{C}$
Output Offset Current (I6–I9)	7	–	$ I_{oo} $	–	14	80	μA
Average Temperature Coefficient of Output Offset Current ($T_A = -55^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$)	7	–	$ TC_{loo} $	–	90	–	nA/ $^\circ\text{C}$
Common-Mode Input Swing, Signal Port, $f_S = 1.0\text{ kHz}$	9	4	CMV	–	5.0	–	Vpp
Common-Mode Gain, Signal Port, $f_S = 1.0\text{ kHz}$, $ V_C = 0.5\text{ Vdc}$	9	–	ACM	–	–85	–	dB
Common-Mode Quiescent Output Voltage (Pin 6 or Pin 9)	10	–	V_{out}	–	8.0	–	Vpp
Differential Output Voltage Swing Capability	10	–	V_{out}	–	8.0	–	Vpp
Power Supply Current I6 + I12 I14	7	6	I_{CC} I_{EE}	–	2.0 3.0	4.0 5.0	mAdc
DC Power Dissipation	7	5	P_D	–	33	–	mW

ANEXO C

LT1524/LT3524 SG1524/SG3524

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

PARAMETER	CONDITIONS	LT1524			SG1524			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Comparator Section:								
Minimum Duty Cycle				0			0	%
Maximum Duty Cycle		45	49		45	49		%
Input Threshold	Zero Duty Cycle		1			1		V
Input Threshold	Max Duty Cycle		3.5			3.5		V
Input Bias Current			0.2	2		1		μA
Current Limiting Section:								
Sense Voltage	Pin 9 = 2V with Error Amplifier Set for Max Out	190	200	210	190	200	210	mV
Sense Voltage T.C.			0.2			0.2		mV/°C
Common-Mode Voltage		-0.7		1	-0.7		1	V
Output Section: (Each Output)								
Collector-Emitter Voltage			40			40		V
Collector Leakage Current	V _{CE} = 40V		0.1	50		0.1	50	μA
Saturation Voltage	I _C = 50mA		1	2		1	2	V
Emitter Output Voltage	V _{IN} = 20V	17	18		17	18		V
Rise Time	R _C = 2kΩ		0.2			0.2		μs
Fall Time	R _C = 2kΩ		0.1			0.1		μs
Total Standby Current:	V _{IN} = 40V (Note 4)		8	10		8	10	mA

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 2)

PARAMETER	CONDITIONS	LT3524			SG3524			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Reference Section:								
Output Voltage		4.9	5.0	5.1	4.6	5.0	5.4	V
Line Regulation	V _{IN} = 8V to 40V		3	10		10	30	mV
Load Regulation	I _L = 0mA to 20mA		10	20		20	50	mV
Ripple Rejection	f = 120Hz		80			66		dB
Short Circuit Current Limit	V _{REF} = 0		100			100		mA
Temperature Stability			0.3	1		0.3	1	%
Long Term Stability			2	10		20		mV/khr
Oscillator Section:								
Maximum Frequency	C _T = 0.001μF, R _T = 2kΩ		300			300		kHz
Initial Accuracy	R _T and C _T Constant		3	6		5		%
Voltage Stability	V _{IN} = 8V to 40V			1			1	%
Temperature Stability	Note 3		2			2		%
Output Amplitude	Pin 3		3.5			3.5		V
Output Pulse Width	C _T = 0.01μF, T _A = 25°C		0.5			0.5		μs
Error Amplifier Section:								
Input Offset Voltage	V _{CM} = 2.5V		1	5		2	10	mV
Input Bias Current	V _{CM} = 2.5V		0.5	2		2	10	μA
Open Loop Voltage Gain			72	80		60	80	dB
Common-Mode Voltage		1.8		3.4	1.8		3.4	V
Common-Mode Rejection Ratio			70	86		70		dB
Small Signal Bandwidth	A _v = 0dB		3			3		MHz
Output Voltage		0.5		3.8	0.5		3.8	V

5

LT1524/LT3524 SG1524/SG3524

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

PARAMETER	CONDITIONS	LT3524			SG3524			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Comparator Section:								
Minimum Duty Cycle			0		0			%
Maximum Duty Cycle		45	49		45	49		%
Input Threshold	Zero Duty Cycle		1		1			V
Input Threshold	Max Duty Cycle		3.5		3.5			V
Input Bias Current			1	2	1			μ A
Current Limiting Section:								
Sense Voltage	Pin 9 = 2V with Error Amplifier Set for Max Out	190	200	210	180	200	220	mV
Sense Voltage T.C.			0.2		0.2			mV/ $^{\circ}$ C
Common-Mode Voltage		-1		1	-1		1	V
Output Section: (Each Output)								
Collector-Emitter Voltage		40			40			V
Collector Leakage Current	$V_{CE} = 40V$		0.1	50	0.1	50		μ A
Saturation Voltage	$I_C = 50mA$		1	2	1	2		V
Emitter Output Voltage	$V_{IN} = 20V$	17	18		17	18		V
Rise Time	$R_C = 2k\Omega$		0.2		0.2			μ s
Fall Time	$R_C = 2k\Omega$		0.1		0.1			μ s
Total Standby Current:	$V_{IN} = 40V$ (Note 4)		8	10	8	10		mA

The ● denotes specifications that apply over the full operating temperature range.

The shaded electrical specifications indicate those parameters which have been improved or guaranteed test limits provided for the first time.

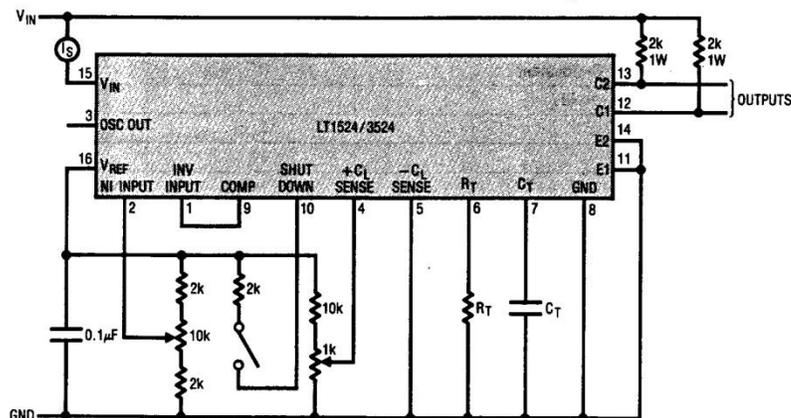
Note 1: For operating at elevated temperatures, the device in the J package must be derated at 100 $^{\circ}$ C/W to a maximum junction temperature of 150 $^{\circ}$ C, while the device in the N package is derated at 150 $^{\circ}$ C/W to a maximum junction temperature of 115 $^{\circ}$ C.

Note 2: These specifications apply for $V_{IN} = 20V$, $f = 20kHz$, $T_A = 25^{\circ}C$ unless otherwise noted.

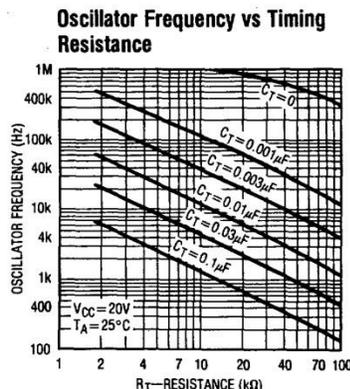
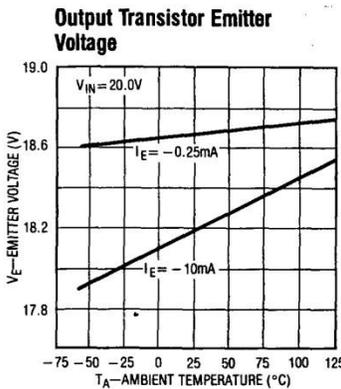
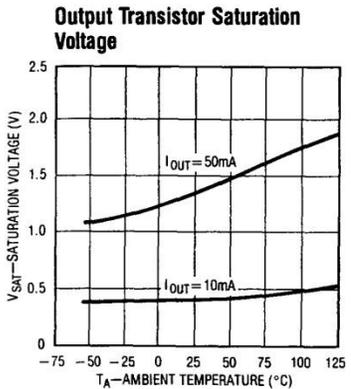
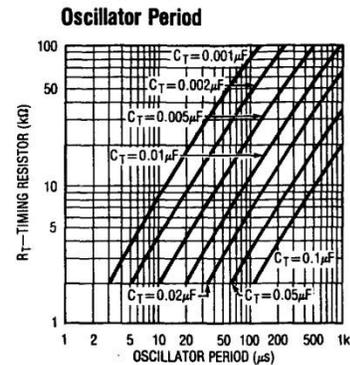
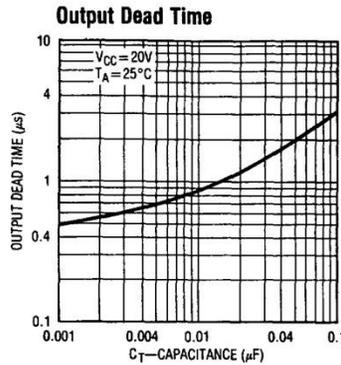
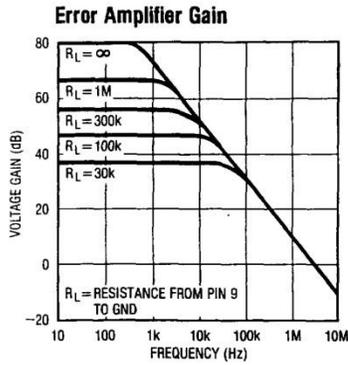
Note 3: Although many manufacturers specify a maximum specification of 2%, Linear Technology's experience is that this specification is not being presently met by other manufacturers. Linear Technology's basic design, although improved, is essentially identical to other manufacturers' devices. Linear Technology is, however, unwilling to place a maximum specification on its data sheet which cannot be met or guaranteed.

Note 4: Standby current does not include the oscillator charging current, error and current limit dividers, and the outputs are open circuit.

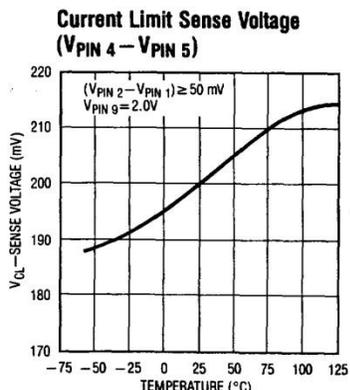
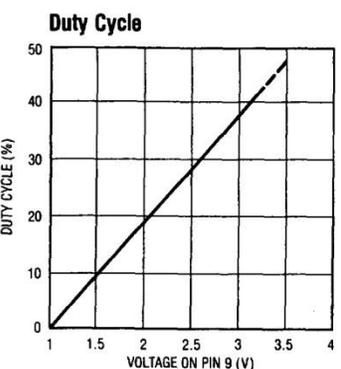
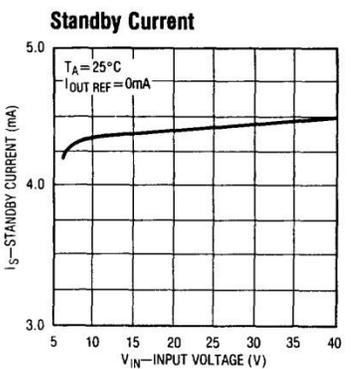
TEST CIRCUIT



TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS



5

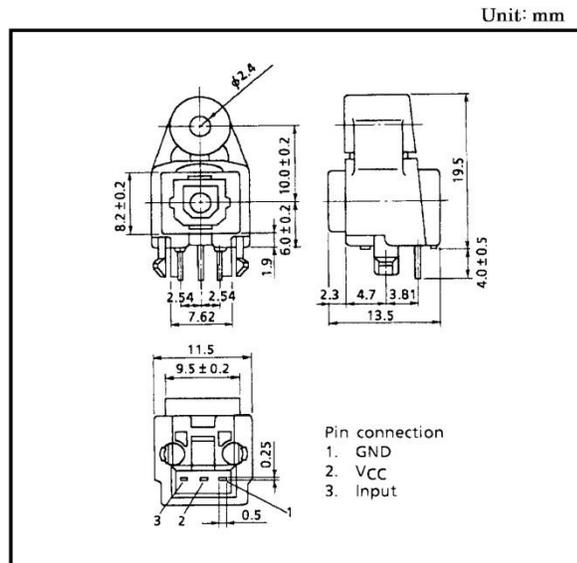


FIBER OPTIC TRANSMITTING MODULE

TOTX179

FIBER OPTIC TRANSMITTING
MODULE FOR DIGITAL AUDIO
EQUIPMENT

- Conforms to JEITA Standard CP-1201 (For Digital Audio Interfaces including Fiber Optic inter-connections).
- TTL interface.
- LED is driven by differential circuit.
- A Self-tapping hole for easy attachment to Audio Equipment panels.



1. Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristics	Symbol	Rating	Unit
Storage Temperature	T _{stg}	-40 to 70	°C
Operating Temperature	T _{opr}	-20 to 70	°C
Supply Voltage	V _{CC}	-0.5 to 7	V
Input Voltage	V _{IN}	-0.5 to V _{CC} + 0.5	V
Soldering Temperature	T _{sol}	260 (Note 1)	°C

Note 1: Soldering time ≤ 10 seconds (At a distance of 1 mm from the package).

2. Recommended Operating Conditions

Characteristics	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Supply Voltage	V _{CC}	4.75	5.0	5.25	V
High-Level Input Voltage	V _{IH}	2.0	—	V _{CC}	V
Low-Level Input Voltage	V _{IL}	0	—	0.8	V

Handling precaution: The LED's used in this product contain GaAs (Gallium Arsenide).

Care must be taken to protect the safety of people and the environment when scrapping or terminal processing.

3. Electrical and Optical Characteristics (Ta = 25°C, VCC = 5 V)

Characteristics	Symbol	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
Data Rate		NRZ Code (Note 2)	DC	—	12.8	Mb / s
Transmission Distance		Using APF (Note 3) and TORX179	0.2	—	5	m
Pulse Width Distortion (Note 4)	Δtw	Pulse Width = 78 ns Pulse Cycle = 156 ns Using TORX179 $C_L = 10 \text{ pF}$	-25	—	25	ns
Fiber Output Power (Note 5)	P_f		-21	—	-15	dBm
Peak Emission Wavelength	λ_c		—	650	—	nm
Current Consumption	I_{CC}		—	15	20	mA
High Level Input Voltage	V_{IH}		2.0	—	—	V
Low Level Input Voltage	V_{IL}		—	—	0.8	V

Note 2: LED is on when input signal is high, and off when it is low.

The duty factor must be maintained between 25 to 75%.

Note 3: All Plastic Fiber (970 / 1000 μm).

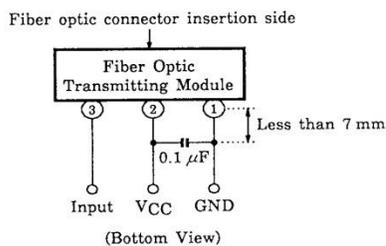
Note 4: Between input of TOTX179 and output of fiber optic receiving module.

Note 5: Measure with a standard optical fiber, peak value.

4. Mechanical Characteristics (Ta = 25°C)

Characteristics	Symbol	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
Insertion Force		Using TOCP172, Initial value	—	—	39.2	N
Withdrawal Force		Using TOCP172, Initial value	5.9	—	39.2	N
Torque for Self-Tap		Using self-tapping screw (M3 × 8)	58.8	—	98	N·cm

5. Application Circuit



6. Required Optical Fiber with Fiber Optic Connectors

TOCP172-□□B

ANEXO E

TOSHIBA

TORX179

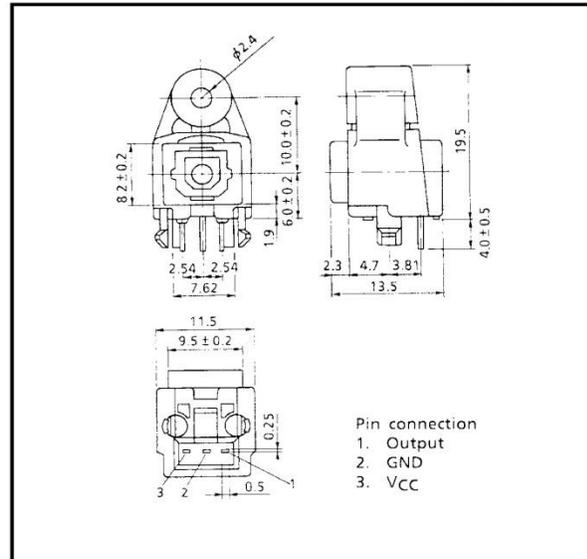
FIBER OPTIC RECEIVING MODULE

TORX179

FIBER OPTIC RECEIVING MODULE
FOR DIGITAL AUDIO INTERFACE

Unit: mm

- Conforms to JEITA Standard CP-1201 (For Digital Audio Interface including Fiber Optic inter-connections).
- A self-tapping hole for easy attachment to Audio Equipments panels.



1. Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristics	Symbol	Rating	Unit
Storage Temperature	T _{stg}	-40 to 70	°C
Operating Temperature	T _{opr}	-20 to 70	°C
Supply Voltage	V _{CC}	-0.5 to 7	V
High Level Output Current	I _{OH}	-1	mA
Low Level Output Current	I _{OL}	5	mA
Soldering Temperature	T _{sol}	260 (Note 1)	°C

Note 1: Soldering time ≤ 10 seconds (At a distance of 1 mm from the package).

2. Recommended Operating Conditions

Characteristics	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Supply Voltage	V _{CC}	4.75	5.0	5.25	V

3. Electrical and Optical Characteristics (Ta = 25°C, VCC = 5 V)

Characteristics	Symbol	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
Data Rate		NRZ code (Note 2)	0.1	—	12.8	Mb / s
Transmission Distance		Using APF (Note 3), Using TOTX179	0.2	—	5	m
Pulse Width Distortion (Note 4)	Δtw	Pulse Width = 78 ns Pulse Cycle = 156 ns $C_L = 10$ pF Using TOTX179	-25	—	25	ns
Maximum Receivable Power (Note 5)	P_{MAX}	12.8 Mb / s, Using APF	-14.5	—	—	dBm
Minimum Receivable Power (Note 5)	P_{MIN}	12.8 Mb / s, Using APF	—	—	-24	dBm
Current Consumption	I_{CC}		—	22	40	mA
High Level Output Voltage	V_{OH}		3.6	4.0	—	V
Low Level Output Voltage	V_{OL}		—	0.2	0.4	V

Note 2: When non-modulated signal (optical all high or all low level signal) is inputted, output signal is not stable.
 When modulated optical high level signal is received, output signal is high.
 When modulated optical low level signal is received, output signal is low.
 The duty factor must be maintained between 25 to 75%.

Note 3: All Plastic Fiber (970 / 1000 μ m).

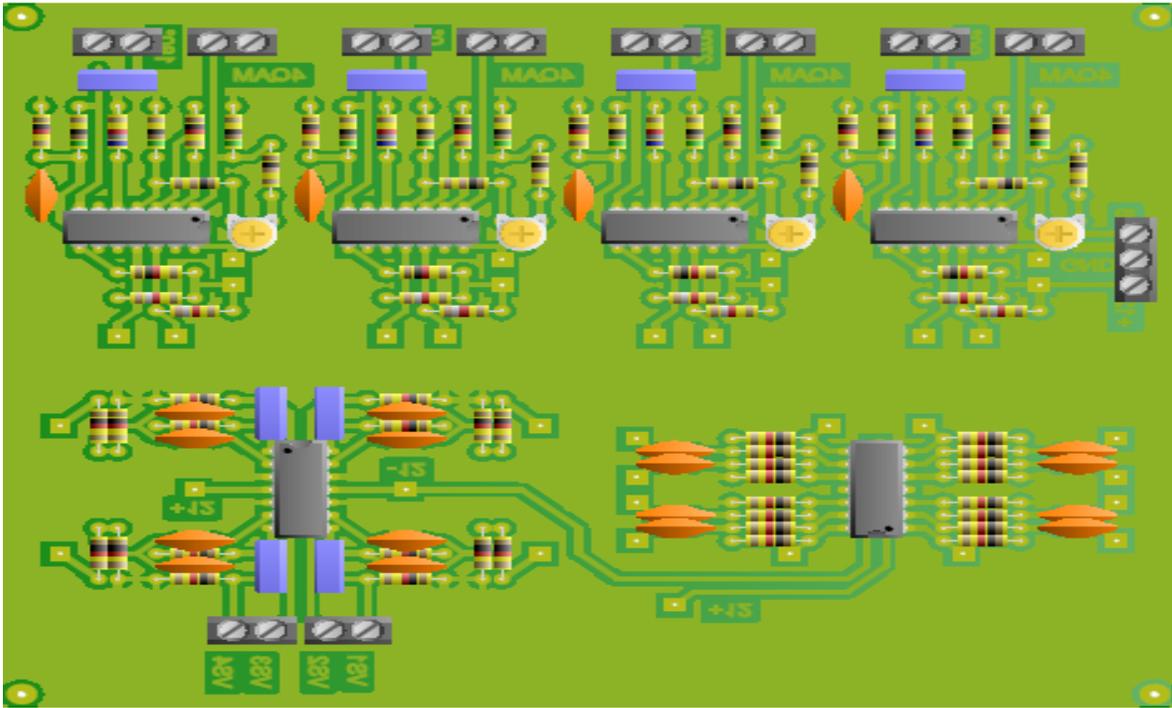
Note 4: Between input of transmitting module and output of TORX179.

Note 5: $BER \leq 10^{-9}$, peak value.

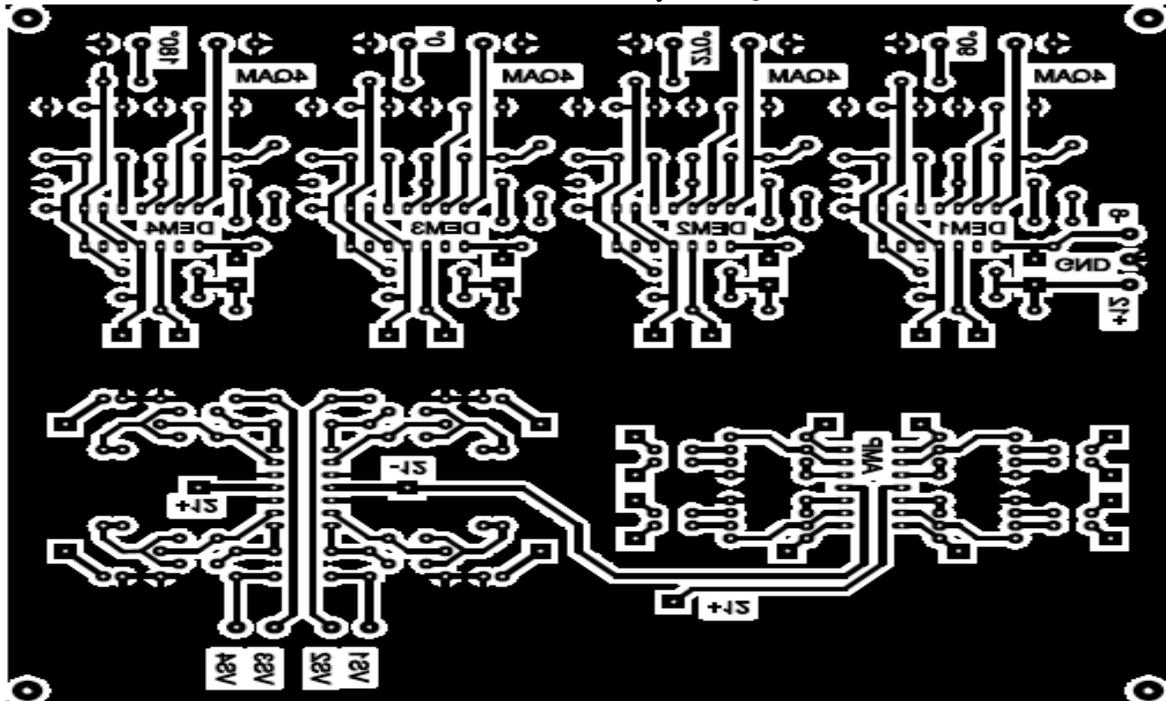
4. Mechanical Characteristics (Ta = 25°C)

Characteristics	Symbol	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
Insertion Force		Using TOCP172, Initial value	—	—	39.2	N
Withdrawal Force		Using TOCP172, Initial value	5.9	—	39.2	N
Torque for Self-Tap		Using self-tapping Screw (M3 \times 8)	58.8	—	98	N·cm

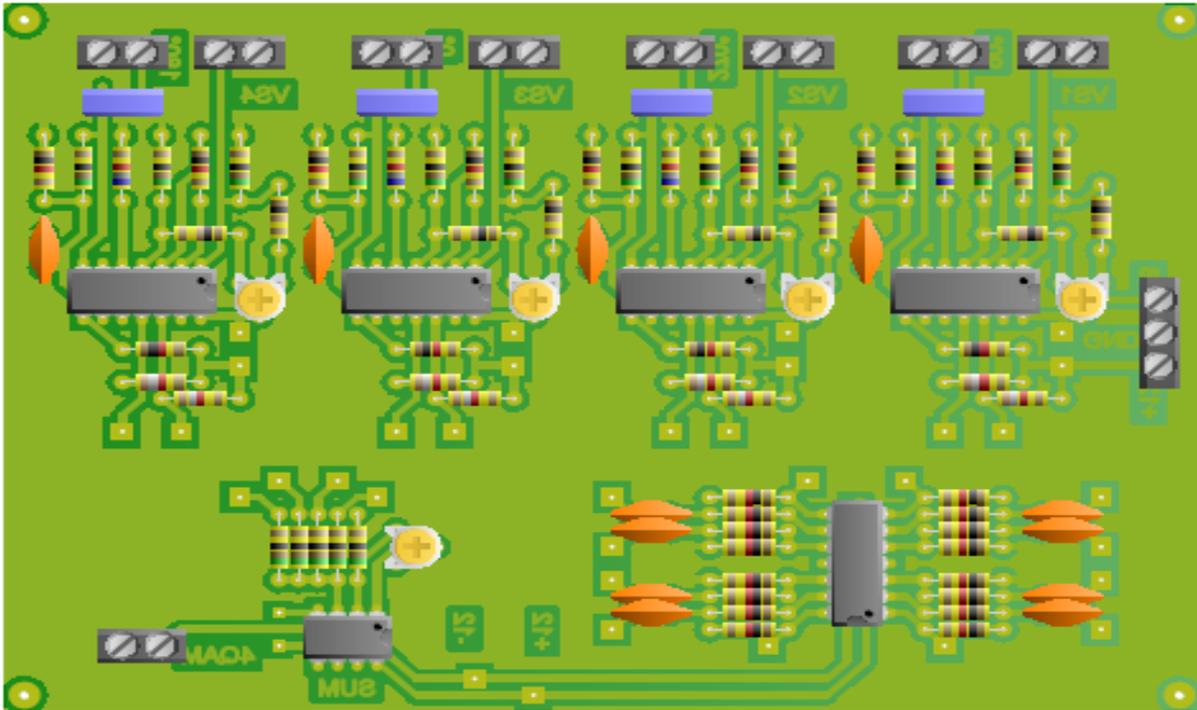
Anexo F (PCBs)
Demodulador Final Real 4QAM



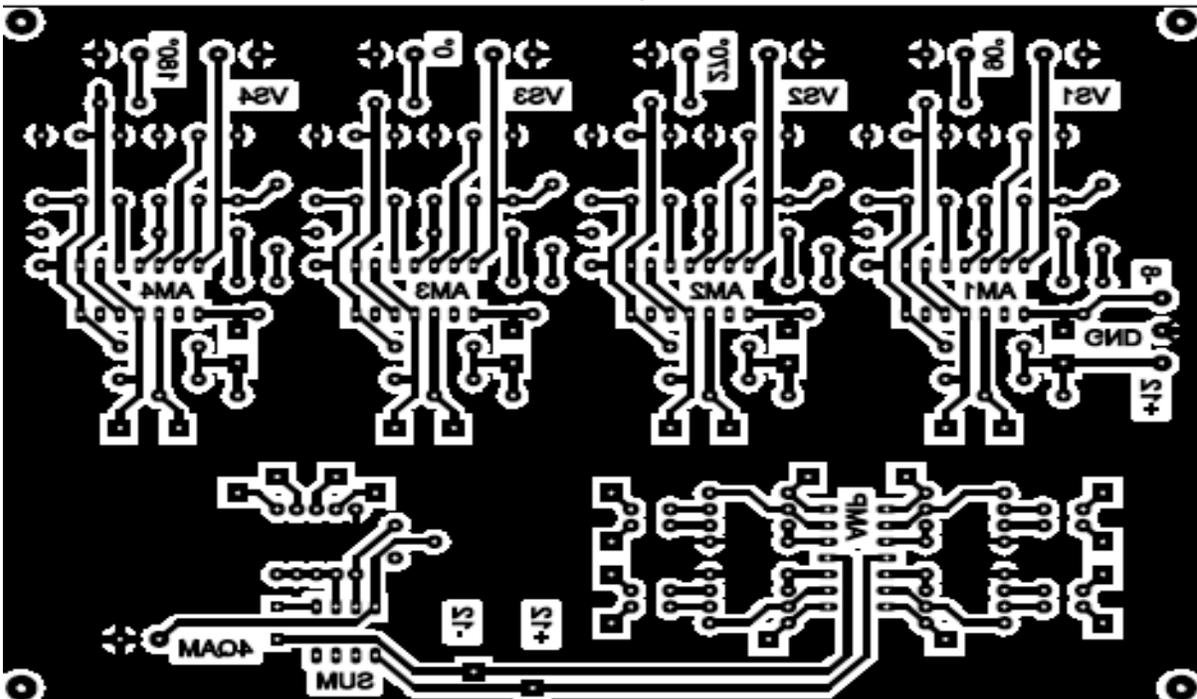
Demodulador Final Layout 4QAM



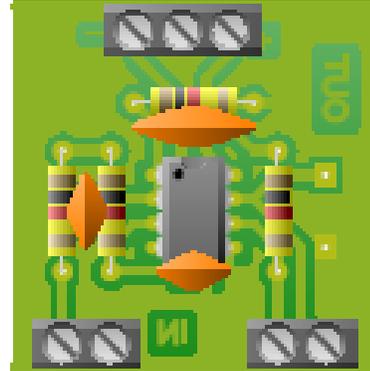
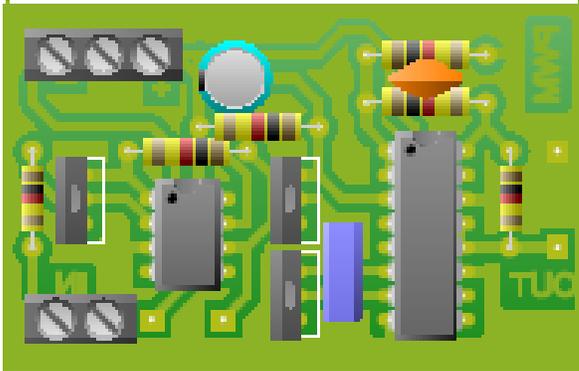
Modulador Final Real 4QAM



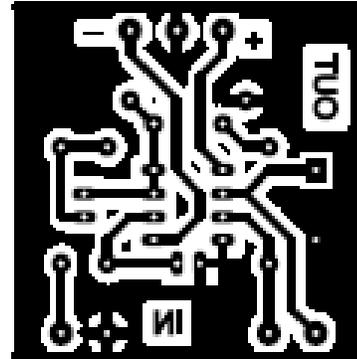
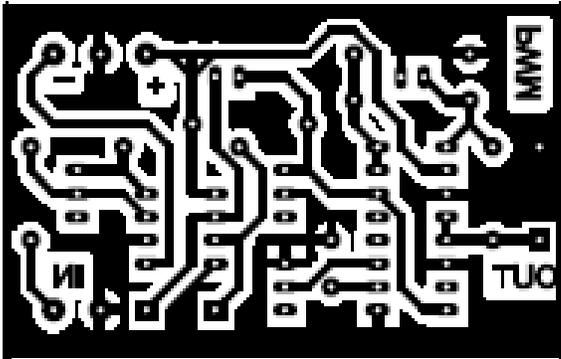
Modulador Final Layout 4QAM



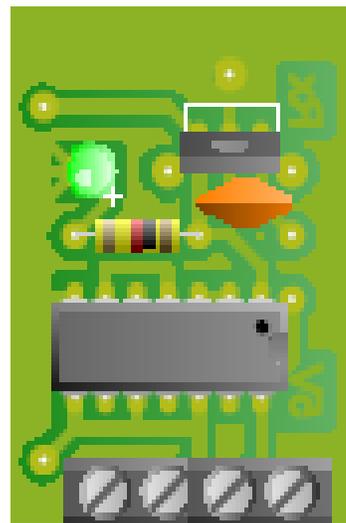
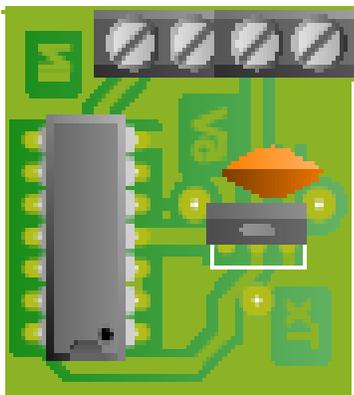
Emisor y Receptor PWM Real



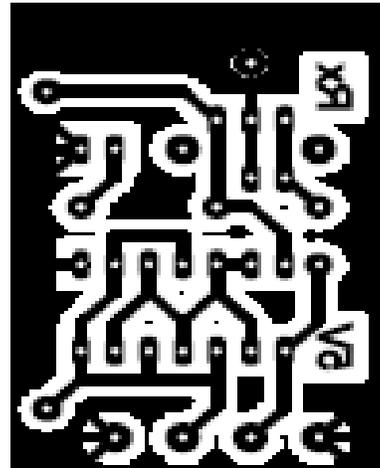
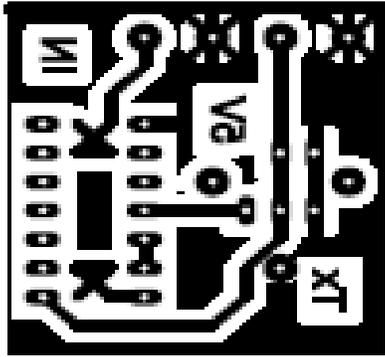
Emisor y Receptor PWM Layout



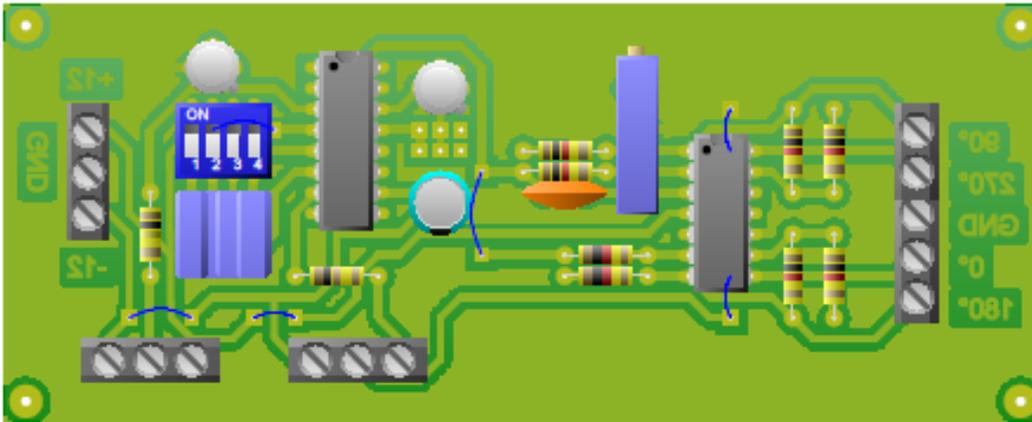
Transmisor y Receptor Fibra Óptica



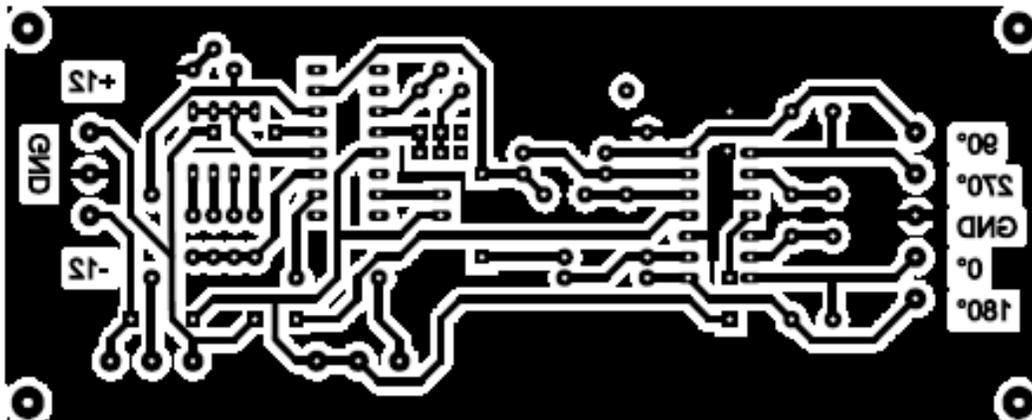
Transmisor y Receptor Fibra óptica Layout



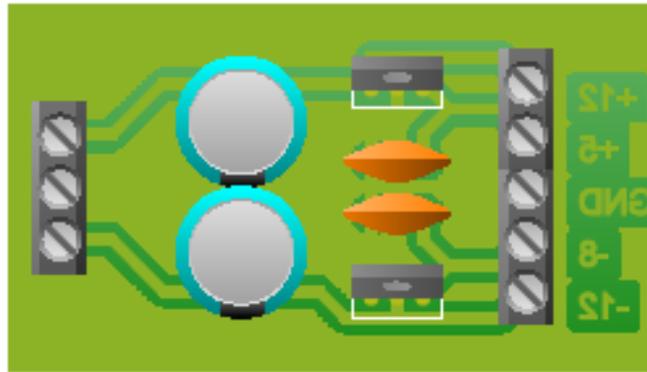
Carrier Todos Los Ángulos Real



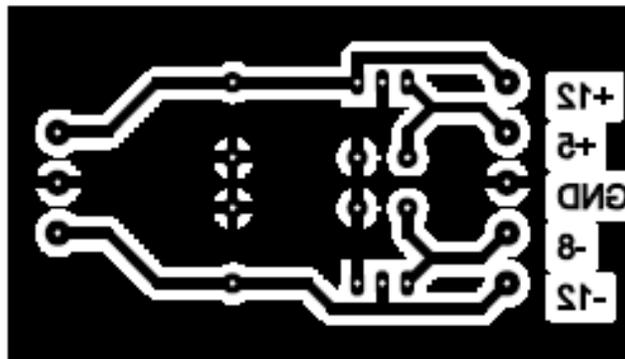
Carrier Todos Los Ángulos Layout



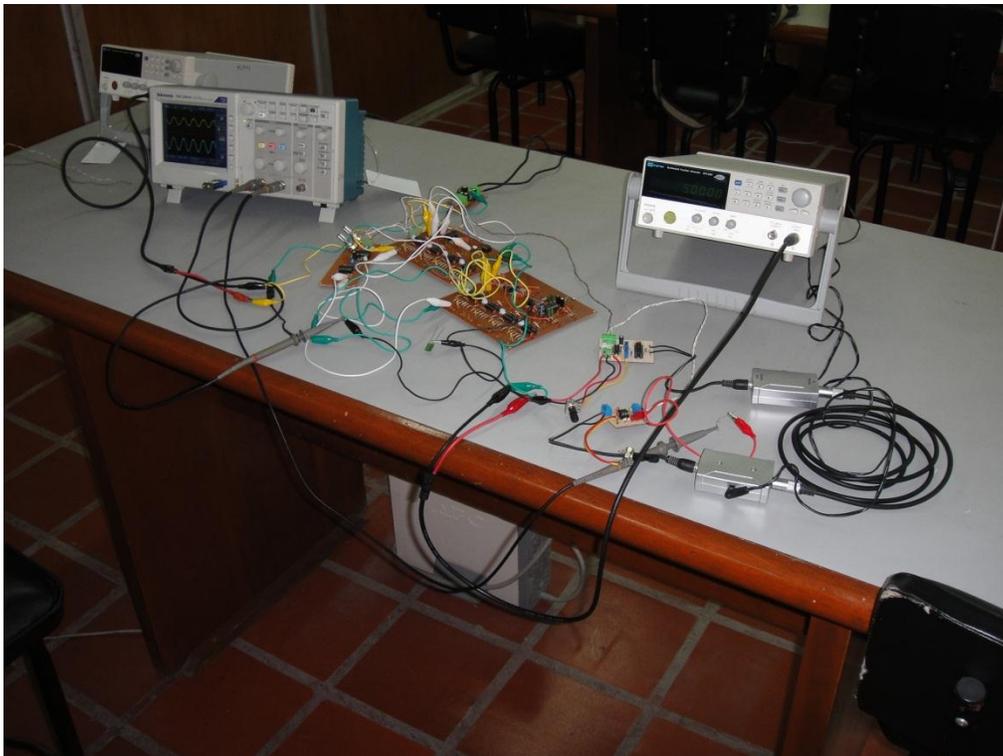
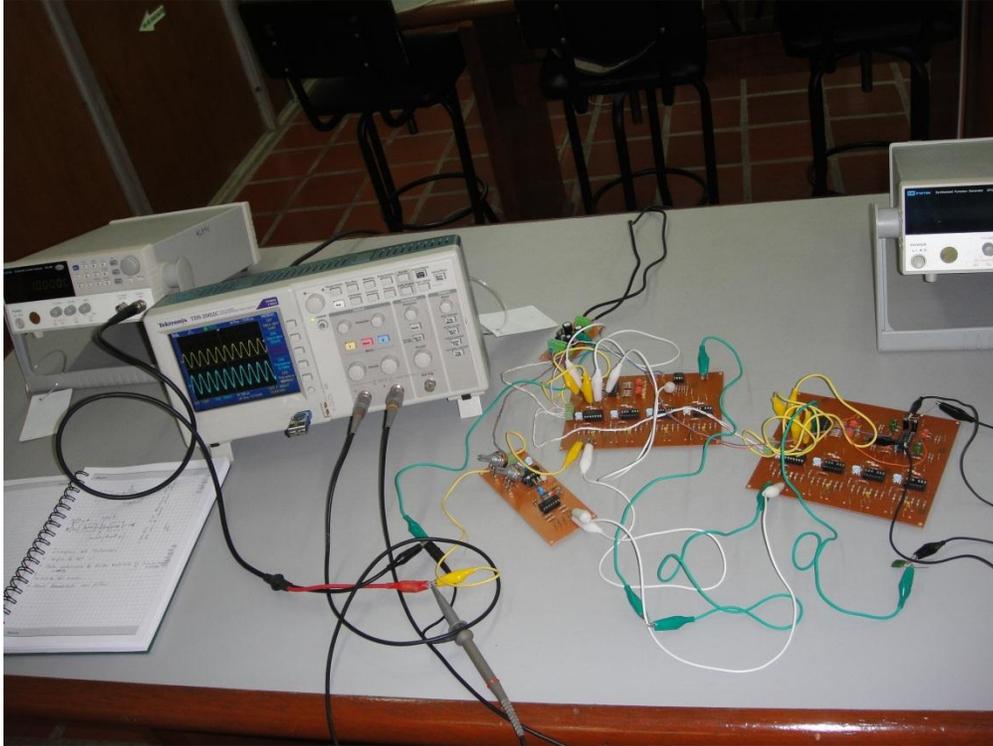
Fuente Tesis Real



Fuente Tesis Laout



Anexo G



ANEXO H



