

24:61



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA
DE SEGURIDAD INFRAROJO Y ULTRASONICO.

T E S I S

Que para obtener el Titulo de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

presenta

GERMAN HERRASTI COQUI



Director de Tesis:
ING. JUAN CARLOS ROA BEIZA

MEXICO

1988

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE TEMATICO .-	PAGINA
INTRODUCCION	1
CAPITULO I LA LUZ	6
1.1 El espectro electromagnético.	9
1.2 Detección del color.	12
1.3 Utilización de la luz.	13
1.4 Emisores de luz.	16
1.5 El LED.	17
1.6 Características de una fuente de luz.	18
1.7 Detectores de luz.	20
1.8 Características de los detectores.	23
CAPITULO II SISTEMAS ACOPLADOS OPTICAMENTE	26
2.1 Características de un LED.	33
2.2 Selección de los LEDs.	37
2.3 Aplicaciones de los LEDs.	39
CAPITULO III LOS FOTODETECTORES	41
3.1 Características electro-ópticas de los fotodiodos	42
3.2 Características ópticas de los fotodiodos	46
3.3 Características eléctricas de los fotodiodos.	47
3.4 El fototransistor.	50
3.5 Características electro-ópticas de los fotodetectores.	50
3.6 Características ópticas de un fototransistor.	51
3.7 Características eléctricas de los fototransistores	52

3.8	Otros fotodetectores.	54
3.9	Transmisión de información.	56
3.10	Otros medios de transmisión.	57
CAPITULO IV EL SONIDO		62
4.1	El espectro electromecánico.	64
4.2	Fuentes de ondas.	66
4.3	Generadores de sonido.	70
4.4	Características del sonido.	71
4.5	Propiedades del sonido.	75
4.6	Los transductores eléctricos.	79
4.7	Los decibeles.	81
CAPITULO V SISTEMAS DE COMUNICACION		84
5.1	La multicanalización.	86
5.2	El espectro de frecuencia.	90
5.3	Técnicas de modulación.	93
5.4	Modulación en amplitud.	90
5.5	Modulación en frecuencia.	102
5.6	El PLL.	113
CAPITULO VI DISPOSITIVOS ULTRASONICOS		115
6.1	Características físicas y electrónicas.	118
6.2	Selección.	123
6.3	Los Carriers.	125

CAPITULO VII	DISEÑO Y CONSTRUCCION	132
7.1	Diagramas de bloque del sistema.	134
7.2	Diseño y construcción de la etapa de emisión infrarroja.	135
	a) Características y criterio de selección para el emisor infrarrojo.	
	b) Características y diseño del oscilador para controlar al emisor.	
7.3	Diseño y construcción de la etapa de recepción infrarroja.	141
	a) Características y criterio de selección para el receptor infrarrojo.	
	b) Construcción y evaluación del receptor, diseño del circuito impreso y prueba del prototipo.	
7.4	Diseño y construcción del sistema de alimentación.	148
	a) Características y construcción de la fuente.	
	b) Diseño del circuito impreso y prueba del prototipo.	
7.5	Diseño y construcción de la etapa de emisión ultrasónica.	155
	a) Características de diseño para generar la señal de FM.	
	b) Construcción y evaluación del sistema, diseño del circuito impreso y prueba del prototipo.	
7.6	Diseño y construcción de la etapa de recepción ultrasónica.	161
	a) Características para la demodulación.	
	b) Selección del receptor.	
	c) Construcción y evaluación del sistema, diseño del circuito impreso y prueba del prototipo.	
7.7	Tablero de visualización.	168
	a) Diseño y construcción.	
	b) Conexión con actuadores.	

CAPITULO	VIII	CONCLUSIONES.	173
CAPITULO	IX	APENDICE	178
CAPITULO	X	BIBLIOGRAFIA	202

INTRODUCCION

Una de las cosas que mas nos ha llamado la atención desde siempre es el ver como el hombre se las ingenia para resolver sus diversos problemas y satisfacer sus distintas necesidades. Siempre investigando, siempre metiendo las narices por aqui y por allá, y no sólo en cosas que le atañen física o personalmente, sino también cosas tales como cuestionarse el origen del universo, el movimiento de las estrellas, el sol, el día, la noche, y más aún, la esencia de si mismo; de donde venimos y hacia donde vamos.

Cuando hay que llevar a cabo una determinada tarea para la cual no se requiere de una destreza manual, ha utilizado su inteligencia para crear dispositivos que lo ayuden a realizar su trabajo. Cuando empezó este proceso ? no se, pero fué hace muchos miles de años, siendo la humanidad testigo de invenciones inauditas tales como la rueda, la telegrafía, la misma luz eléctrica y tantas cosas mas.

Situandonos en el presente, no puedo ni pensar en cuantas hojas podriamos llenar con cosas que el hombre ha inventado para poder resolver sus problemas, sus necesidades, y llevar a cabo sus inquietudes y deseos. Agrupar o clasificar estos puntos seria difícil, lo que para unos es un deseo, para otros podria ser una necesidad o tal vez un problema. Lo que si es seguro y eso es para todos nosotros es que existen y tenemos que aprender a

vivir contra ellos, para ellos y con ellos.

, Pues bien, este proyecto cae dentro de esa clasificación. Se trata de llevar a cabo una idea que, si es un problema, una necesidad, o un deseo, o tal vez una mezcla de todos; no importa, lo que si es seguro es que siempre existe un deseo de poder realizar una idea útil al hombre, razón más que suficiente para poner manos a la obra y ver la manera de transformarla en una realidad.

Desde los tiempos mas remotos el hombre ha tenido que trabajar para sobrevivir, lograrse su alimento, su ropa, tener una familia, etc, unos más, otros menos, pero todos girando alrededor de lo mismo. Las cosas que se logran con el trabajo y el esfuerzo propio adquieren un gran valor para nosotros, ya sean metas físicas, morales o bienes materiales, y perderlos, es algo que creo que no está dentro de los planes de nadie. Para algunos, el trabajar es un medio de obtención de bienes materiales y que por derecho pertenecen al que lucho por ellos y legalmente los adquirió. Otros, no lo ven de ese modo; sostienen que pueden tener acceso a los bienes por los cuales otro trabajó -bienes ajenos- y que en cualquier momento pueden ir a tomarlos. Personalmente no solo estoy de acuerdo con el primer grupo, sino que repruebo totalmente la manera de sentir de los otros, considerando esa acción como injusta, incorrecta e indebida. Pero tal parece que poco importa lo que pensemos y digamos, esa

gente no cambiará y seguirá luchando para lograr la adquisición de los bienes ajenos.

Que podemos hacer los demás para proteger nuestros bienes, en este caso materiales, por los cuales hemos luchado y trabajado honradamente? Dificiles preguntas y más aún, de difícil respuesta. Ahí es en donde engrana éste proyecto. Aquí se plantea una de las tantas posibilidades de proteger la propiedad privada en sus múltiples acepciones. Tal vez no sea ni la mejor ni la peor alternativa y mucho menos la única, pero sí una que sirva y que nos permita tener la oportunidad de poder conservar lo nuestro con nosotros.

El presente proyecto entonces, propone un sistema de seguridad electrónico que funciona utilizando conceptos de optoelectrónica y ultrasonido que se conjuntan para tratar de lograr su objetivo de la mejor manera posible. El trabajo está dividido en tres partes que corresponden a las tres etapas de las que consta el proyecto:

La primera parte, concierne a todo lo relacionado con la detección de la señal, y consiste en poder detectar que se ha presentado una situación anormal y activar la cadena de acciones que forman el sistema. Esto se puede lograr de varias maneras; cableado eléctrico, obstrucción ultrasónica, sensores de temperatura, etc., en nuestro caso, la alternativa elegida consiste en utilizar un sistema de detección electrónico acoplado ópticamente con

luz infraroja.

La segunda parte del proyecto, consiste en utilizar la señal generada en la fase anterior y transformarla en una señal de alta frecuencia que sea capaz de viajar por el espacio una determinada distancia, o bien que pueda ser transmitida a través del cableado de la alimentación del espacio que se desee proteger, para finalmente llegar a un punto en donde será recibida y retransformada nuevamente y ser preparada para alimentar la siguiente etapa del proceso.

En la tercera etapa, se unirá el trabajo realizado por cada una de las etapas anteriores en uno sólo, que es el de ejercer las acciones de control sobre los dispositivos electrónicos que han de activar la señal de alarma del sistema de seguridad.

Esperamos que con estas líneas haya quedado más clara la idea del porqué de este proyecto, para qué nos sirve, las partes que lo componen, y ubicarnos en el microuniverso dentro del cual nos queremos mover.

CAPITULO I

LA LUZ

Desde los tiempos más remotos el hombre ha podido ver la luz y sentir sus diversos efectos, pero en aquel tiempo no pasaba de ser un fenómeno repetitivo en el cual solo se establecía la diferencia entre la luz del día que empezaba al salir el sol y la obscuridad de la noche que empezaba al ocultarse éste. Para que servía ?, porqué estaba ahí ?, cuál era su origen ?. Estas preguntas ni siquiera eran motivo de preocupación, mucho menos se interesarían en contestarlas. Había luz y había obscuridad y tal vez solo porque así tenía que ser.

Con el paso del tiempo, se vió que la luz era más que solo algo que estaba alrededor, y que tenía la capacidad de transmitir información. Con la luz, vemos cosas que sin presencia de ella no sería posible, y no solo eso, depende mucho la intensidad de ésta con la cantidad de información obtenida. Sin luz, no podríamos ver nada, con poca luz percibiríamos la presencia de un objeto, con un poco más de luz, sabríamos de que se trata, y con más luz aún, advertiríamos su color, sus partes, dimensiones, y finalmente, con la luz debida y adecuada, veríamos perfectamente cualquier inscripción que tuviera en la superficie, y así, tendríamos acceso a todos los parametros que identifican perfectamente a tal objeto. En este caso, la luz se comportó como un transmisor de información.

Ahora viene la pregunta obligada: Qué es la luz ? y vaya pregunta! contestarla con todo lo que conyeva el término hasta su total conocimiento y entendimiento nos llevaria años de estudio y lo mas seguro es que no toquemos fondo. Pero no hay que desilusionarse porque mucho se ha averiguado al respecto y por cierto mucho más de lo que necesitamos en este momento para entender a la luz a éste nivel. Así pues, diremos en terminos generales, que la luz es en esencia Energia. Un tipo de energia que viaja de manera radiada a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas. La luz infrarroja, visible o ultravioleta son ondas de energia radiada que encajan con el concepto de luz. La radio y los rayos X son también ondas de energia radiada pero que no encajan con el concepto de luz. La energia radiada es transmitida de un punto a otro sin que exista un contacto fisico entre las partes: el sol nos envia su luz a través del espacio y la recibimos, la vemos y sentimos sus efectos aunque no estamos pegados al sol.

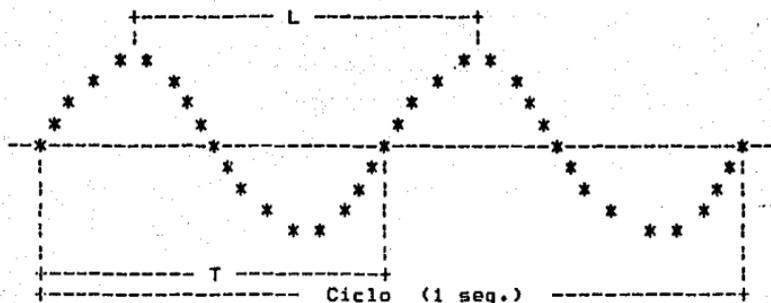
Con el avance de la tecnologia se ha podido encausar éste fenómeno para producir beneficios al hombre en multiples campos. La electrónica ha estudiado el comportamiento detallado de estos fenomenos y tanto ha avanzado que fué necesario crear una nueva rama especial para tal estudio llamada; OPTOELECTRONICA, que ha enfocado su desarrollo sobre los materiales semiconductores y sus

múltiples aplicaciones. Aquí es donde precisamente encaja el presente estudio. En una aplicación práctica de la electrónica moderna en su rama de optoelectrónica mediante la cual será posible diseñar un sistema capaz de hacernos saber la presencia o ausencia de ciertos objetos dentro de un determinado medio ambiente como podría ser el caso de la detección del movimiento de seres humanos dentro de un espacio determinado que es justamente el enfoque de éste trabajo, surgiendo así un 'sistema de seguridad optoelectrónico'.

La radiación es la parte de la física que estudia el fenómeno de la transferencia de energía entre un emisor -radiador o transmisor- y un receptor -sensor o detector-. Establece que no podremos ver tal transferencia pero que sí podremos sentir su efecto; tal vez algo parecido a lo que ocurre con el viento.

1.1 El espectro electromagnético.-

La energía radiada está contenida en las partes visible e invisible del espectro electromagnético. Este espectro, contiene la gama de fuentes de energía radiada de acuerdo a la frecuencia que emiten y las podríamos ubicar de la siguiente manera:



-CICLO: Es una medida de la periodicidad de la onda y nos ayuda a saber el numero de veces que la onda sigue exactamente el mismo comportamiento.

-LONGITUD DE ONDA [L]: Es una medida de la distancia de un frente de onda viajando a la velocidad de la luz a través del espacio en un ciclo.

Longitudes de onda normales suelen medirse en medidas normales, tales como kms., cms., mts., pero la longitud de onda de la luz es tan pequeña, que hizo falta crear una unidad especial muy pequeña denominada 'angstrom' [A] y es equivalente a un diez-billonésimo de metro;

$$L = \frac{\text{vel. de la luz [300,000] Km/seg}}{\text{frecuencia}}$$

-PERIODO [T]: Es una medida que indica el tiempo que tarda en llevarse a cabo un ciclo.

-FRECUENCIA [F]: Es una medida que relaciona cuantos ciclos se repiten en una cierta unidad de tiempo. Existe una relacion entre la frecuencia y el periodo que

establece que;

$$f = \frac{1}{T}$$

donde;

f es la frecuencia en Hertz.
T es el periodo generalmente en segundos.

1.2 Deteccion del color.-

A estas alturas conviene mencionar el efecto de la detección del color por el ojo humano, ya que es un fenómeno sumamente interesante y cabe mencionarlo porque está directamente relacionado con los conceptos que estamos manejando hasta este momento:

El ojo humano, debido a su estructura interna o valga la expresión, debido a su diseño, tiene la capacidad de captar ondas de energía radiada cuyas longitudes de onda oscilen dentro de los 4,000 y 7,000 Angstroms y deberá ignorar todas las demás. Esto lo podemos ver más claramente a través del siguiente esquema:

	rojo	violeta	
rango invisible			rango invisible
al infrarrojo			al ultravioleta
<-----			----->
ondas de radio			ondas de rayos X y rayos gamma
Frec. (hertz) =	4EE14	7EE14	
Long. (mts.) =	7EE-7	4EE-7	

y la parte del espectro correspondiente a la zona visible la podremos descomponer en los siguientes niveles:

Color	Longitud de onda
violeta	4,000-4,500
azul	4,500-5,000
verde	5,000-5,700
amarillo	5,700-5,900
naranja	5,900-6,100
rojo	6,100-7,000
blanco	combinación de todas las longitudes de onda
negro	total absorción de las longitudes de onda

Y de hecho esto explica porqué es que podemos ver las cosas de colores! Al incidir una onda de luz radiada en un objeto, éste tenderá a absorber y refractar ciertas ondas correspondientes a ciertas frecuencias. Si el objeto es verde, absorberá todas las frecuencias entre 4,000 y 7,000 angstroms, reflejando unicamente las contenidas entre 5,000 y 5,700 y entonces veremos verde. Si reflejara todas, veriamos blanco, y si absorbiera todas lo veriamos negro. De aqui se concluye algo interesante: si es cierto que la luz es energia y que un cuerpo negro absorbe toda esa energia y esta no se crea ni se destruye solo se transforma; en donde queda la luz ? no podria desaparecer en el cuerpo! pues precisamente se ve obligada a transformarse y lo hace en forma de calor. Por eso es que ante una misma fuente de luz, un cuerpo negro se calentará mucho más que uno blanco.

1.3 Utilizacion de la luz.

Conforme la tecnologia ha avanzado, se han tenido más herramientas para profundizar en el estudio de la luz

al grado de que se ha tomado a la velocidad de la luz como base paramétrica de máxima magnitud. Se ha llegado a suponer que no hay otras partículas existentes que superen esa velocidad y de haberlas se desintegrarían. Son muy comentadas las teorías que dicen que al aproximarse a esas velocidades ocurren cosas extrañas tales como brincar la barrera del tiempo: si nos vamos a esa velocidad a la estrella más cercana a la tierra que está a 5 años luz -un año luz es la distancia que recorre la luz en un año-, para nosotros habrán pasado 10 años de ida y vuelta, pero que en la tierra habrían transcurrido 87 años y muchas otras teorías por el estilo pero esos pensamientos se los dejaremos a los científicos especialistas en la materia como el físico Stephen Hawkins quien ha logrado continuar con gran éxito las teorías propuestas por Einstein y Newton.

Hasta donde la utilización contemporánea práctica de la luz concierne, se ha podido clasificar el uso de la luz en tres grandes ramas: iluminación, transferencia de energía y transmisión de información. Brevemente serían:

a) La iluminación requiere de una fuente de luz con suficiente intensidad capaz de transmitir una particular longitud de onda de modo que pueda ser reflejada por un objeto y captada por un detector determinado. El detector entonces, proporcionará la información deseada acerca del

medio ambiente que ha sido iluminado. En este caso, la luz puede ayudarnos a determinar factores como: presencia o ausencia de objetos, la forma de estos, su color, su movimiento, sus reflejos, etc.

b) Para realizar este tipo de transferencia debemos tener una fuente eficiente y de gran intensidad, un medio de transmisión de bajas pérdidas y un detector que responda solo a ciertas longitudes de ondas emitidas. Un caso al margen sería el de una celda solar: El sol produce alrededor de $1,400 \text{ watts/m}^2$ fuera de la atmósfera terrestre. A la superficie llegan aproximadamente unos 800 y de esos, una celda solar de 1 m^2 producirá 80 watts, o sea: por cada 800 watts/ m^2 de energía solar se obtendrán 80 watts/ m^2 de energía de celda solar, que es un 10%. El otro 90% es convertido en calor o simplemente es reflejada. Otro caso muy conocido de este tipo de transferencia de energía, es el rayo Laser: aquí se presenta la posibilidad de concentrar una gran cantidad de energía en un área tan pequeña que la densidad de energía resultante alcanza niveles de magnitud asombrosos, capaz de penetrar y rajar materiales muy duros o de cortar diversos metales y tantas otras aplicaciones comerciales.

c) Transmisión de información; en este último caso, tenemos tres elementos involucrados; fuente emisora, medio

de transmisión y el receptor. Solo nos interesarán dos casos prácticamente:

El primero es mantener el medio transmisor fijo y variar la fuente diseñando el receptor para identificar una señal con éstas características. Aquí quedan agrupados todos los dispositivos de comunicación entre hombre y maquina, tales como las computadoras, displays digitales, indicadores de advertencia, etc.

El segundo caso nos sugiere mantener la fuente emisora fija y variar el medio de transmisión, diseñando el receptor de manera que identifique este tipo de señal. Aquí agrupamos las lectoras de tarjetas, sistemas de seguridad, lectoras de código de barras, televisión, gráficas en computadora, etc.

1.4 Emisores de luz.-

Se ha mencionado que hay básicamente dos tipos de generadores de luz; los naturales y los artificiales. Ahora nos ocuparemos más en detalle de los artificiales, ya que por ahí va a estar encausado éste estudio.

Existen varias maneras de generar una onda electromagnética radiada con longitud de onda visible al ser humano. Una forma sería con un foco incandescente que utiliza un filamento por el cual circula una corriente. Otra forma sería la lampara fluorescente, en la cual se

utiliza la ionización de un gas dentro de un tubo al vacío. En ésta familia aparecerán las lámparas de neón y xenón. Existen también los quinqués en los cuales se aprovecha un cierto combustible que arde a través de la mecha. Están también las velas, las lámparas de gas, algunos otros dispositivos más y finalmente, el que nos ha de interesar de ahora en adelante que es la generación de luz a base de materiales semiconductores.

1.5 El LED.-

Entrando un poco más dentro del mundo de la electrónica, nos topamos con la idea de que se puede crear luz utilizando un material denominado: semiconductor. Brevemente podríamos mencionar que es lo que está ocurriendo: cuando se inyectan electrones a la región N de un diodo PN, y son barridos en la región cerca de la unión, se recombinan con un hueco. Esta recombinación es similar a cuando un electrón de un átomo regresa a su nivel bajo de energía después de estar en uno mayor. Al suceder éste fenómeno, se genera luz, cuya frecuencia queda determinada por la diferencia entre los niveles de energía.

Dado que ese movimiento dentro de éste dispositivo solo puede ocurrir en un solo sentido, electrónicamente hablando el comportamiento es análogo al del un diodo, y

dado que además emite luz, a tal dispositivo se le denominó: DIODO EMISOR DE LUZ, que en inglés sería 'Light Emitting Diode' de donde se tomó universalmente las siglas para llamarlo simplemente: LED. En el caso en el que la luz que emite un LED esté dentro del rango visible al ojo humano se le denominará: VLED.

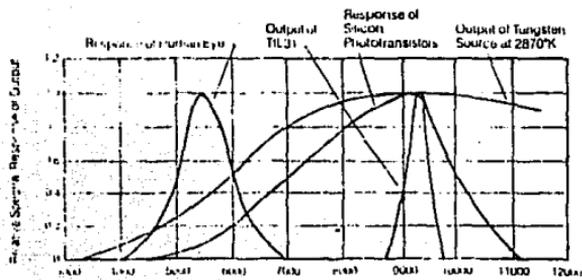
A continuación podremos ver una tabla en donde se muestran algunos materiales semiconductores junto con la longitud de onda que producen y el rango del espectro electromagnético en el que caen:

tipo	material	longitud de onda en Angstroms	rango del espectro
LED	antimoniuro de indio	69,000	infrarrojo
LED	arseniuro de indio	34,500	"
LED	antimoniuro de galio	17,700	"
LED	fosfuro de indio	9,850	"
LED	arseniuro de galio	8,980	"
VLED	fosfuro de galio y arsénico	6,500	rojo
VLED	fosfuro de galio	5,650	verde
VLED	nitruro de galio	4,000	violeta

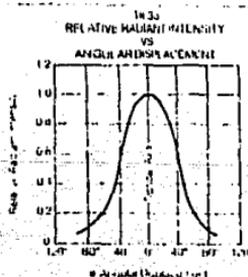
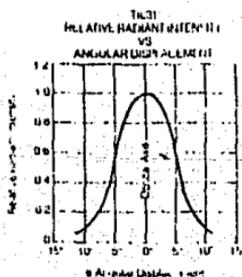
1.6 Características de la fuente de luz.-

Si bien es cierto que aceptamos que hay muchas maneras de generar luz, para qué seguir buscando tantas? bastaría con una sola. Pues no, no es así. Dadas las múltiples aplicaciones actuales de éstos dispositivos, han surgido una serie de parámetros que distinguen a cada uno de ellos. Uno de éstos parámetros es lo que conocemos como la DISTRIBUCION ESPECTRAL. En éste caso, es una

característica de la fuente emisora que nos relaciona su potencia relativa de salida contra la longitud de onda que emite. En la siguiente figura podemos ver una comparación entre varios dispositivos semiconductores y el ojo humano:



Otra característica interesante es la conocida como el ANGULO VISUAL; resulta que la mayoría de las fuentes no emiten luz uniformemente en todas las direcciones, a continuación veremos dos tablas que nos muestran la diferencia entre dos LEDs, el TIL 31 y el TIL 33 en donde se compara su salida relativa contra su eje axial óptico, que es el eje perpendicular a los lentes del LED;



Otra característica más, es la conocida como EFICIENCIA, que establece la relación entre la potencia de salida del dispositivo -intensidad luminosa- y la potencia de entrada al mismo -energía eléctrica-. Una lámpara de carbón de Edison tiene una eficiencia de 2 lúmenes/watt, mientras que una lámpara fluorescente tiene 70 lúmenes/watt. Será en base a todas estas características que formularemos nuestro criterio de selección de la fuente más apropiada para nuestras necesidades. Si los semáforos fueran todos del mismo color, no nos servirían, o si se utilizara un LED infrarrojo en el display de una calculadora, jamás veríamos nada. Esto es; para cada necesidad particular, habrá que escoger una fuente adecuada.

1.7 Detectores de luz.-

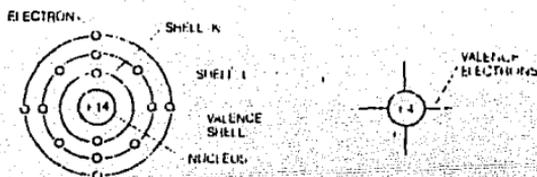
Así como hemos podido hablar de la amplia gama de fuentes de luz y sus diversas peculiaridades, también es posible hablar de aquellos dispositivos que se encargan de captar o sensor esa luz de alguna manera emitida, para después darle un uso práctico mediante algún tipo de transformación de energía.

Pudiendo aquí hablar también de las clasificaciones naturales y artificiales de los receptores, tales como el ojo humano, las cámaras de

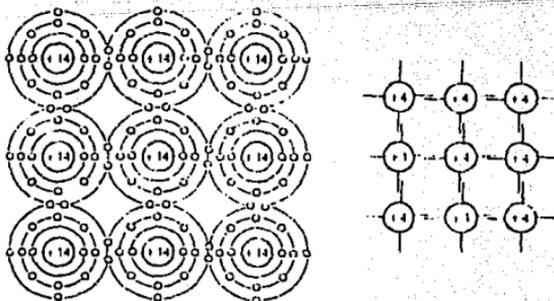
fotografía, etc., entraremos directamente a la familia de detectores que nos interesa que es la formada por los detectores a base de semiconductores.

Para poder entender sin problemas su modo de operación, conviene dar un breve repaso a la parte de física de semiconductores que involucra los conceptos que utilizaremos a lo largo de este proyecto.

Sea el diagrama orbital de un átomo de silicio de la siguiente forma, junto con su forma simplificada de representar únicamente el último nivel de energía en donde podemos apreciar la representación de los 4 electrones de valencia con las que realiza el enlace covalente con otros átomos:



y ahora, el conjunto de ambos como se verían en una agrupación real:



En un enlace de tipo covalente, los electrones de valencia son compartidos por ambos átomos para tratar de formar una estructura completa estable con 8 electrones en ese nivel. Si por medio de una difusión de estado sólido intermezcláramos un átomo que no sea de silicio como el galio o el indio que solo tienen 3 electrones de valencia disponibles o uno como el fósforo y el antimonio que tienen 5 - materiales que pertenecen a los grupos III y V de la tabla periódica-, lo que lograríamos sería un desequilibrio en las posiciones de los electrones forzando un vaiven de ellos para tratar de llenar los huecos del átomo vecino y viceversa. Así pues, podemos tener combinaciones entre materiales que cumplan con este fenómeno tales como el fosfuro de galio, arseniuro de indio, fosfuro de galio y arsénico, etc. y lo curioso es que estas tres combinaciones al reaccionar producen ondas de luz en el rango visible del espectro electromagnético que vimos en la sección 2.2.

Si un átomo del grupo V -conocido como donador- es añadido a la estructura mencionada anteriormente, el electrón extra no es utilizado para realizar el enlace covalente porque sobra, y se llama entonces 'electrón libre' ya que no hay fuerzas que lo mantengan en un lugar fijo, puede moverse dentro del material libremente. Este electrón es de hecho un exceso de carga negativa y se dice entonces que el material tiene un exceso de carga negativa.

y se le llamara de tipo N.

Si un átomo del grupo III -conocido como aceptador- es añadido a la estructura mencionada anteriormente, el resultado será que faltaría un electrón para llegar al equilibrio, o sea se creó una vacante a la que se le llama 'hueco' y la falta de ese electrón se traduce en un exceso de carga positiva. En tal caso, se dice que el material tiene un exceso de carga positiva y se le llama tipo P.

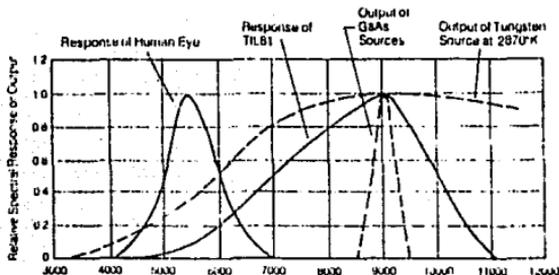
Estas dos situaciones tienen una importancia tal, que sobre estos dos principios está basada la teoría de la electrónica moderna, basta con mencionar el caso de los transistores y los circuitos integrados.

1.8 Características de los detectores.-

También como en el caso de las fuentes emisoras, los receptores o detectores tienen que cumplir con ciertas características tales como que puedan censar la onda para la cual fueron diseñados, esto es, que sean compatibles con alguna fuente emisora determinada.

Si quisieramos censar la intensidad de un haz de luz infrarrojo con una cámara fotográfica, no obtendríamos ningún resultado, o si quisiera transformar energía de rayos X con un detector de luz visible, pues tampoco llegaríamos muy lejos. Así entonces, los detectores

tienen un rango de operación que puede graficarse en un diagrama espectral relativo de la siguiente forma:



Aquí podemos notar como el dispositivo TiL 31 -fuente de arseniuro de galio-, tiene su máxima respuesta a los 9,300 Angstroms y el detector, un TiL 81 -receptor de silicio- también, entonces podrían hacer una buena combinación emisor-receptor, y de hecho lo hacen y son una pareja muy comercial.

Existen asociados tres conceptos: el ANGULO VISUAL, la EFICIENCIA y la PROPIEDAD ELECTRICA. Los dos primeros son análogos al caso que teníamos de las fuentes, y el tercero es el que nos interesará en este momento.

Las propiedades eléctricas de los materiales nos proporcionan las características para evaluar la relación que existe entre la energía suministrada y la entregada por cada dispositivo. Es importante conocer la relación de conversión entre estas dos energías dentro del dispositivo para que se pueda escoger entre usar una celda solar, una celda fotoresistiva, una fotovoltaica, un fotodiodo, un

fotoFET, un fotoSCR, etc. Más adelante tendremos la oportunidad de analizar las características de un fotoemisor y receptor que da el fabricante para aplicaciones comerciales.

CAPITULO II

SISTEMAS ACOPLADOS

OPTICAMENTE

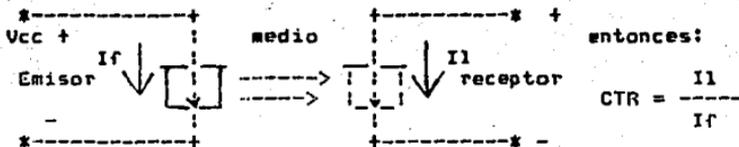
Habiendo ya entendido el concepto de lo que es una fuente de luz y sus factores involucrados y lo que es un receptor con todos sus factores involucrados, no será difícil avanzar en nuestro camino y decir que con ese par de elementos nosotros formaremos un sistema que servirá para nuestro particular propósito.

Así pues, directamente diremos que un sistema acoplado ópticamente [SAO], será aquel formado por un emisor que genere una señal con determinadas características, un medio que transmita esa señal con el mínimo de pérdidas posible y un receptor capaz de captar esa señal de la manera más eficiente posible.

Existen básicamente 4 características que debemos observar en un SAO que son; la GANANCIA o relación de transferencia de corriente [CTR] -por sus siglas en inglés-, la RESPUESTA EN FRECUENCIA, la cantidad de AISLAMIENTO eléctrico, y la INMUNIDAD al ruido debido a fuentes externas o internas del sistema.

1.- Relación de transferencia:

Está basada en la relación que existe entre la corriente de salida del receptor contra la corriente de entrada al emisor;



2.- Respuesta en frecuencia

Bajo ninguna circunstancia debemos confundir este concepto con el que mencionamos anteriormente de la respuesta espectral del sistema. Esa respuesta espectral era el rango de frecuencias de luz que causaban que una corriente significativa fluyera por el detector. La respuesta en frecuencia de un sistema acoplado ópticamente es una medida de que tan rápido puede responder el sistema a cambios en la señal de entrada.

Una manera de analizar esta característica es especificando la frecuencia de corte [f_c] del sistema -que generalmente es aquella a la cual la sensibilidad del detector alcanza el 70% de su valor máximo- y el tiempo de subida o rise time [t_r] -que es el tiempo que tarda en alcanzar ese valor- El límite de frecuencia f_c está dado por la relación:

$$f_c = \frac{0.35}{t_r} \quad \text{o sea:} \quad t_r = \frac{0.35}{f_c}$$

si nuestro sistema tiene una frecuencia de corte de $f_c=100$ KHz, el tiempo de subida [t_r] -rise time- será: $t_r = 100,000 / 0.35 = 3.5$ micro-seg. y de la misma forma un sistema con un $t_r=0.1$ microseg tiene una frecuencia límite de 3.5 Mhz.

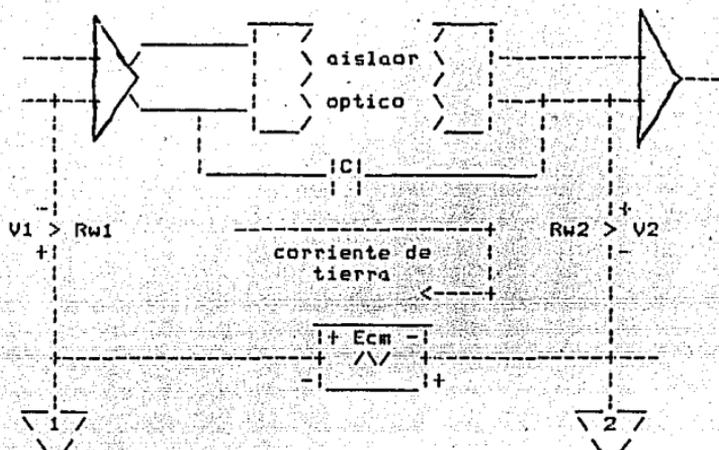
una señal de tipo modo común en las entradas.

La habilidad de un sistema de detectar una señal diferencial y rechazar una de modo común se mide con lo que se conoce como la relación de rechazo de modo común; [CMRR] -por sus siglas en inglés-, y se ve que entre mayor sea esta relación mejor es el sistema.

b).- Regreso por tierra.-

Otra propiedad del aislamiento involucra la posibilidad de que el medio de transmisión oponga una resistencia al flujo de corriente eléctrica a través de él. Esto ayudará a prevenir corrientes de regreso por tierra indeseables.

Como se muestra en la figura, podemos tener sistemas en donde se tengan más de una tierra conectadas a distintas partes del circuito. En este caso, puede haber presencia de corrientes circulando por las diversas tierras. Idealmente, todos los puntos de cualquier tierra deberían estar al mismo potencial pero en la realidad desafortunadamente no sucede así y una corriente puede fluir por caminos entre las tierras ocasionando una diferencia de potencial indeseable alterando las características de funcionamiento del circuito. El ejemplo se puede entender de la siguiente forma:



c).- Aislamiento eléctrico; esta propiedad se refiere al aislamiento eléctrico que pueda haber en el sistema cuando ocurra una variación radical en el voltaje aplicada. Si ocurre una alteración en una parte del sistema, ésta no se transmitirá al otro lado de éste y se dice que la anomalía queda prácticamente aislada.

d).- Aislamiento de ruido eléctrico; los ruidos eléctricos generados tanto en el emisor como en el receptor, no se pueden tocar, ya que ambos están separados físicamente y su unión es a través de un medio totalmente ajeno a ambos.

4.- Inmunidad al ruido

A la capacidad que tiene un SADO de resistir interferencias de fuentes externas o internas se le denomina: inmunidad al ruido. Se presentan dos tipos de ruido; los externos y los internos.

a).- Ruidos externos; son un problema ya que siempre están presentes, se refieren al caso en el que existe otra fuente que no es la nuestra que transmite la misma frecuencia que nuestro emisor en cuyo caso, el detector podrá reaccionar a ambas. Para prevenir este fenomeno, se sugiere lo siguiente:

- Asegurar que la potencia de nuestra señal sea mucho mayor que la de el ruido externo presente.
- Cambiar la frecuencia de operación de nuestro sistema a una tal que estemos seguros no esta presente en el medio ambiente.
- Encapsular el detector dentro de un cono aislador de forma tal que atende al máximo todas aquellas señales que no entren al cono dentro de un cierto margen en el angulo visual permitido.

b).- Ruidos internos; no son tan frecuentes pero si ocurren y son igualmente indeseables. Se presentan en forma tal que causan que el detector produzca una señal

cuando en el emisor no ha habido ninguna excitación. Pueden ser originados debido a variaciones térmicas en los electrones, una unión PN defectuosa o un material semiconductor pobre.

Una medida de la inmunidad de un SNO ante los ruidos se conoce como la relación señal-ruido, y se interpreta como la relación que existe entre la corriente de salida y la corriente interna debido al ruido cuando no se aplica ninguna señal a la entrada del sistema.

2.1 Características de un LED.-

Debido a sus características, los LEDs han reemplazado a un sinúmero de lámparas incandescentes pequeñas en las cuales se requiere poco espacio, poco consumo de energía, respuesta rápida, bajo costo y sobre todo su compatibilidad tanto para sistemas analógicos como digitales.

Existen tres características que nos interesan asociadas a los LEDs: Las optoelectrónicas, las ópticas y las eléctricas.

a).- Características Optoelectrónicas de los LEDs.-

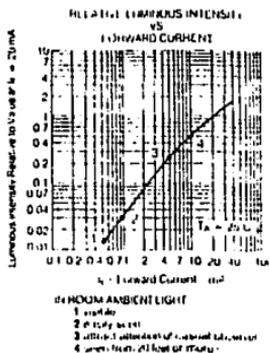
Estas características proveen información acerca de la salida de luz como función de la corriente a través del dispositivo. Se pueden usar los datos proporcionados

por el fabricante en la hoja de características, como por ejemplo tenemos los datos de un VLED de fosfuro de galio y arsenico, el TIL 220 o el TIL 221 cuya diferencia aparentemente sólo estriba en el color del encapsulado ya que uno es blanco y el otro es rojo.

La figura siguiente nos muestra la relación entre las longitudes de onda y los voltajes que puede manejar el dispositivo. - notar que 6,500 Å es un rojo visible -:

parámetro	prueba	TIL 220		TIL 221	
		min	tip max	min	tip max
Iv Int. luminosa	If=20 mA	800		1000	
Lp Long. de onda	If=20 mA	6300	6500 6700	6300	6500 6700Å
Vf Voltaje dir.	If=20 mA	1.6 2		1.6 2 V	
Ir Corriente inv.	Vr= 3 v.	0.1		0.1 mA	

La siguiente figura nos muestra la relación entre la corriente de polarización directa del diodo y su luminosidad relativa:

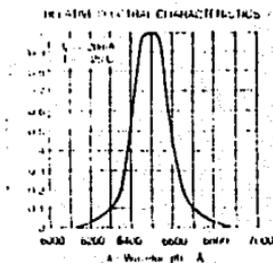


b).- Características ópticas de un LED

Estas características incluirán información cromática del diodo, o sea, su color, su ángulo visual y

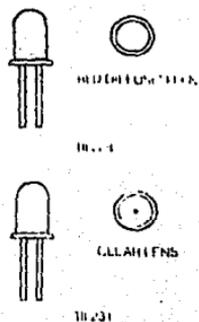
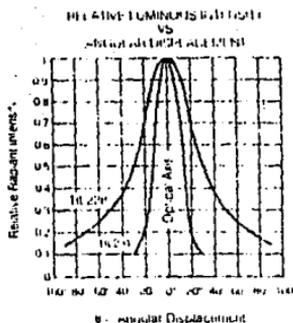
el tipo de lente que utiliza.

La siguiente figura nos muestra la curva de intensidad de luz en función de la longitud de onda:



Las siguientes graficas nos darán información acerca de dos LEDs de fosforo de galio, el TIL 228 y el TIL 231. Hay que notar que la longitud de onda es 6,200 Å que es un rojo un poco mas pardo que el del TIL 220 que la tenia de 6,500 Å.

parámetro	condiciones de prueba		min	tip	max	U
Iv Int. luminosa	If=20mA	TIL228-1	2.1			mcd
		TIL228-2	6			
		TIL231-1	6			
		TIL231-2	15			
Lp Long. de onda	If=20mA		6200		Å	
Oh angulo del haz	If=20mA	TIL228		60		G
		TIL231		25		
Vf Voltaje dir.	If=20mA				3.2	V
If Corriente inv.	Vr=5v				100	mA



Podemos apreciar como el ángulo visual del TIL 231 es mucho más reducido que el del TIL 228 y la diferencia entre las microcandelas entregadas por cada diodo. Esta última diferencia radica en que el material rojizo introducido en el TIL 228 -epoxico rojizo-, causa una difusión del haz luminoso emitido por el led, y en consecuencia se crea un mayor ángulo visual, mientras que en el TIL 231, al ser el relleno blanco, no hay divergencia del haz causando que salga casi como se emitió por el LED, y será un ángulo mucho más pequeño.

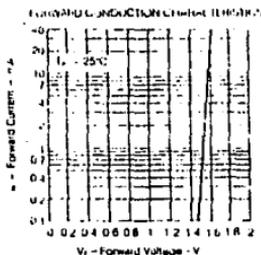
c).- Características eléctricas de un LED.-

Serán similares a los de un diodo semiconductor. Aquí se tienen factores como el voltaje en directa, voltaje en inversa, máxima corriente de saturación, corriente continua máxima, etc.

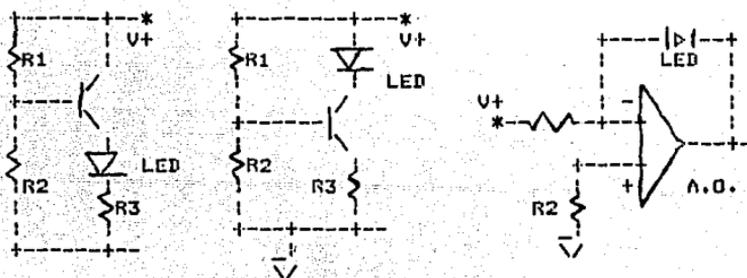
En las figuras anteriores podemos encontrar todos éstos parámetros excepto una que también es muy importante

y aquí es donde cabe mencionarla y se trata de la relación que existe entre el voltaje en directa aplicado y la corriente circulante en el dispositivo.

Esta relación la podemos entender a través de la siguiente gráfica:



y ya que la luz emitida depende de la corriente circulante, se suele desear que sea un parámetro constante controlado y en la mayoría de los casos se proponen circuitos de la forma siguiente:



2.2 Selección de los LEDs.-

Los criterios para seleccionar un determinado LED son variados, puede ser que se tenga limitación de

espacio, de costo, de corriente disponible, de forma, etc, en cuyo caso, se atiene uno a las restricciones. Pero en el caso de que el diseño del sistema de cierta libertad, entonces si convendria vigilar ciertas prioridades para la selección del dispositivo óptimo.

Lo primero que se debe de ver, es que emita la longitud de onda que especificamos en nuestro diseño; ya sea infrarrojo, visible o ultravioleta, y ver las distintas alternativas que tenemos.

Despues, analizamos su ángulo visual y seleccionamos aquellos que cumplan con nuestros requerimientos. Finalmente se verá la corriente que manejan y las candelas que produce, tratando de buscar la máxima luminiscencia con el minimo de corriente.

Si los LEDs han de formar parte de un tablero - como en el caso de un coche-, tal vez convenga encontrarlo para que no reciba reflejos parasitos de otras partes dentro del mismo tablero, aumentando asi su eficiencia luminica para el que lo esté viendo.

A continuación tenemos una tabla en donde vemos algunos tipos de VLEDs con algunas características que nos interesan:

dispositivo	color	tipo de lente	luminosidad min (mcd)	If (mA)	notas: (empaquete) (tamaño)
5082-4550	amarillo	difuso	1	10	CL-10
5082-4650	rojo	difuso	1	10	T1-3/4
5082-4775	verde	difuso	2.2	20	
TIL209A	rojo	difuso	0.5	20	
TIL212-2	amarillo	difuso	2.1	20	CL-9
TIL216-1	rojo	difuso	2.1	20	(T1)
TIL221	rojo	claro	0.8	20	CL-10
TIL224-2	amarillo	difuso	6	20	T1-3/4
TIL227-2	amarillo	claro	15	20	alta
TIL231-1	rojo	claro	6	20	intensidad
TIL226 a1					arreglos
TIL270	rojo	difuso	0.5	25	de uno a
TIL281 a1					diez
TIL290	amarillo	difuso	0.8	25	elementos

2.3 Aplicaciones de los LEDs.-

Son múltiples y variadas ya los usos que se le dan a éstos dispositivos. De hecho todos los paneles de visualización en la instrumentación electrónica funcionan a través de LEDs; todos los indicadores de estado en una computadora, los displays digitales, tableros de automoviles, radios, grabadoras, tocadiscos, sistemas de intercomunicación, relojes, sistemas de monitoreo, sistemas de control remoto -como televisiones y videocaseteras-, transmisión de información entre máquinas, lectoras de tarjetas, sensores de estado del medio ambiente, lectoras de código de barras, controladores de nivel, controladores de temperatura y presión, etc. que son de gran utilidad para el hombre hoy

en día y que juegan un importante papel en la era de la electrónica.

CAPITULO III

APLICACIONES DE LOS

FOTODETECTORES

Si en el capítulo pasado se habló de la parte emisora de un SAO, ahora hablaremos de la parte correspondiente a la recepción.

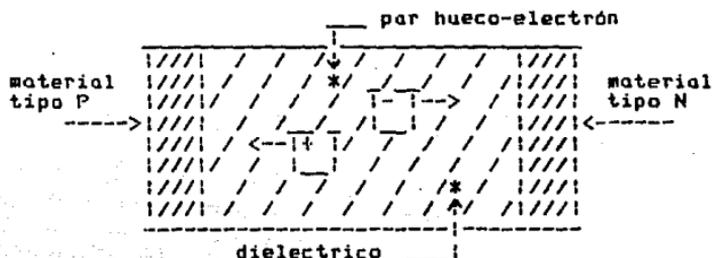
Uno de los tipos más usados de fotodetectores es el diodo de unión PN al que se le refiere como foto-diodo al ser usado como fotodetector.

3.1 Características electro-ópticas de los fotodiodos.-

Al incidir luz en el fotodiodo, en la unión PN se formará un movimiento entre los huecos y los electrones libres transformándose en una corriente a la que llamaremos: fotocorriente.

La contribución del par 'electrón-hueco' a la fotocorriente dependerá de que tan rápido puedan separarse entre ellos antes de juntarse y anularse. Si una unión PN es polarizada en inversa, en la zona cercana a la unión aparece una región desierta de cargas, y los extremos de ésta región se comportan como un capacitor, cuya capacitancia dependerá del ancho de esta región y de la carga que pueda almacenar entre sus placas; la energía del capacitor determinará la capacidad del fotodiodo. Esta conclusión es muy interesante porque nos damos cuenta que si de alguna manera aumentamos esa capacitancia, aumentaremos la efectividad del fotodiodo. Una manera de hacerlo es introduciendo entre la unión PN un material

semiconductor puro llamado 'material intrínseco', y el diodo resultante se conoce como PIN y el efecto es el de un sandwich:

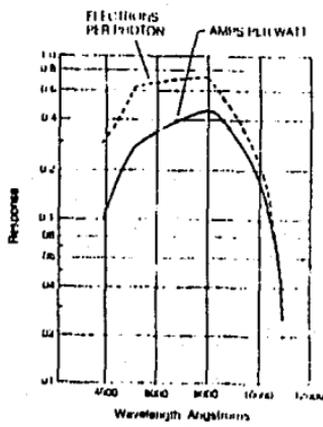


Esto que se ha mencionado es muy importante porque muchas de las características más importantes del fotodiodo involucran la relación entre la luz que recibe el fotodiodo y la fotocorriente.

También debemos recordar que si el fotodiodo es polarizado en inversa, la corriente de fuga se incrementa con el aumento de voltaje, y debe buscarse que éste sea lo más bajo posible para evitar que se produzca un efecto avalancha por causa de la corriente inversa y dañe el fotodiodo. Como todo, cada alternativa tiene sus ventajas y sus desventajas. El uso específico del diodo determinará como será usado, ya sea si polarizado en inversa y con cuanto voltaje, o con polarización en directa.

Las características que se contemplan en este nivel son:

a) Eficiencia cuántica: Se refiere al número de pares electrón-hueco creados por cada fotón de luz que incide a la juntura PN del fotodiodo. Generalmente tenemos acceso a esta información en las hojas de datos que proporciona el fabricante en forma gráfica:

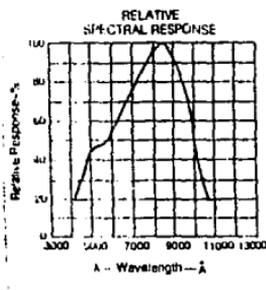


Aquí podemos apreciar la relación entre la eficiencia cuántica de una unión PIN como un 0.75 e⁻/fotón a 7,700 Angstroms. Notar que se involucra una cierta longitud de onda.

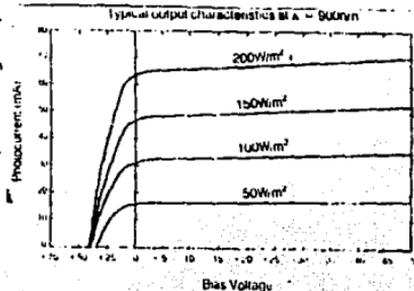
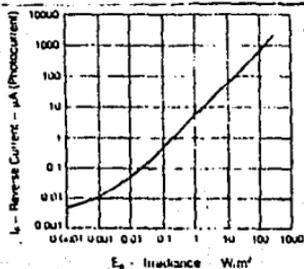
b) Respuesta de flujo: Esta es la característica que nos relaciona la salida de fotocorriente en amperes, y los watts de flujo radiante que causan esa fotocorriente. En la figura anterior, podemos ver que para ese PIN, a 8,000 angstroms, hay una respuesta de flujo de 0.45 amperes/watt.

c) Respuesta espectral: Cada una de las características mencionadas, puede graficarse contra la longitud de onda para proporcionar una característica importante de

cualquier fotodiodo: su respuesta espectral. Estamos hablando del rango de frecuencias a las cuales el fotodiodo responde y puede entregar una cierta corriente. En esta figura podemos ver la magnitud relativa de la respuesta que se presentará sólo ante ciertas frecuencias, y podemos notar como hay un valor de longitud de onda para la cual existe un valor máximo.



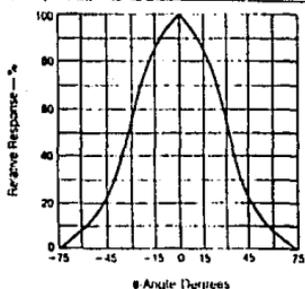
d) Irradiación vs. fotocorriente: Dado que la fotocorriente también depende de la polarización inversa aplicada al diodo, es posible graficar esa fotocorriente como función de la polarización inversa a niveles de irradiancia. Aquí, la irradiancia está en watts/M2 y podemos ver la diferencia de utilizar la polarización en inversa al fotodiodo:



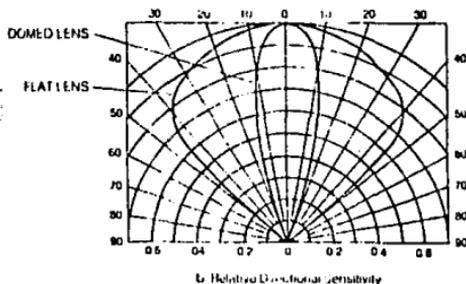
3.2 Características ópticas de los fotodiodos.-

En éste caso se plantea que el diodo tiene un ángulo de incidencia del haz de luz óptimo, o sea, que la recepción del haz luminoso depende de la posición física del fotodiodo, y esto se interpreta como el grado de alineación que hay entre el emisor y el receptor. La idea es simple; a mayor alineación mayor será la transferencia de energía entre el emisor y el receptor.

Este parametro se mide utilizando la relación que hay entre el ángulo de incidencia del haz sobre el fotodiodo y la fotocorriente producida. Esta grafica puede estar representada en el plano cartesiano o en el polar. Notar que un diodo con lente, tiene un mayor ángulo de incidencia:



a Typical Photodiode Versus Angle of Incidence



b Relative Directional Sensitivity

3.3 Características eléctricas de los fotodiodos.-

Son muy similares a las de un diodo eléctrico convencional. Se involucra su voltaje máximo de operación, su máxima corriente de mantenimiento, su voltaje en inversa, etc. y los datos los da el fabricante en tablas de la forma siguiente:

parámetro	cond. de prueba	I_m	T	M	U.
V _{br} -break down voltage	I _r =100mA, E _e =0	30			V
I _d -Dark current	V _r =10v., E _e =0	5	50		nA
I _l -Light current	V _r =10v., E _e =250mW/cm ²	10	15		mA
C _t -Total capacitance	V _r =3v., E _e =0 f=1Mhz	35	50		pF
t _r -Rise time	V _r =10v., R _l =1K		99		ns
t _f -Fall time	V _f =10v., R _l =1K		99		ns

Analizemos los parámetros:

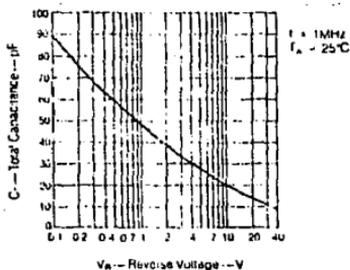
- VBR: Significa 'Break-Down Voltaje' o voltaje de rompimiento y es el máximo voltaje de polarización en inversa que se puede aplicar al diodo antes de dañarlo. El TIL100 tiene un mínimo de 30 volts, los diodos PIN lo tienen alrededor de 50, y los fotodiodos de avalancha varían entre los 150 y 200 volts.

- ID e IL: Otra característica de un diodo es su corriente inversa de saturación. Para un fotodiodo, ésta corriente se conoce como ID 'Dark current' o corriente oscura y se refiere a aquella que fluye por el diodo aunque no exista una luz incidiendo en la unión. Debe ser pequeña comparada con la fotocorriente. Puede reducirse bajando el voltaje

de polarización inversa del diodo. ID debe mantenerse dentro del rango de los nanoamperes [nA] a los picoamperes [pA].

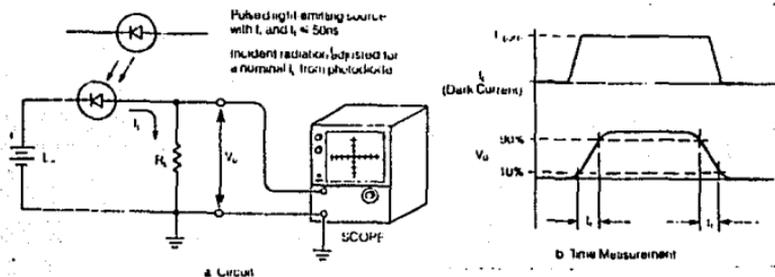
- CT: Se refiere a la capacitancia de la unión PN. Esta es la que determina que tan rapido puede el fotodiodo responder a cambios de intensidad del haz de luz incidente a la juntura. Generalmente varia desde un pF hasta decenas de pF. Entre mayor sea la capacitancia, el fotodiodo es más lento. Esta puede reducirse aumentando el voltaje de polarización en inversa, pero entonces aumentará la corriente de fuga.

En la siguiente figura podemos ver la relación entre el voltaje en inversa y la capacitancia del fotodiodo TIL 100 de silicio:



- Tr, Tf y Fc: Como se menciona anteriormente, la respuesta en frecuencia del diodo no debe confundirse con la respuesta espectral del mismo, se vió que se podía expresar a través de su frecuencia de corte o por swicheo, que tiene que ver esto con un fotodiodo ?, pues mucho! resulta que el fotodiodo no es ideal, o sea, recibe una señal, y de aqui a que se da cuenta y empieza la actividad en la juntura y se estabiliza, se ve que pasó un cierto

tiempo llamado 'tiempo de subida' o rise time T_r . Igualmente, al cesar el estímulo, sigue la actividad en la juntura, hasta que llega a condiciones iniciales estables y también transcurrió un cierto tiempo que es el 'tiempo de bajada' o fall time T_f . Esto es muy fácil de ver en el laboratorio, si alabramos el siguiente circuito, obtendremos su figura en donde podemos ver claramente el T_r y T_f :



- Pd: Las uniones de un semiconductor son muy sensibles a la temperatura. La disipación de potencia en el dispositivo -voltage aplicado por corriente circulante- determina cuanto aumentará la temperatura del material semiconductor. Debe vigilarse que la disipación de potencia nunca exceda la máxima temperatura permisible de la unión.

3.4 El Fototransistor.-

En muchas aplicaciones, los fotodiodos son usados en conjunto con un amplificador para aumentar el efecto de fotocorriente. Un transistor comercial debe tener una de sus uniones PN polarizada en inversa; la colector-base y la otra unión PN --la colector emisor--, debe estar polarizada en directa para poder amplificar la corriente aplicado por la base del transistor. Siendo así, parece tener todo lo necesario; fotodiodo y amplificador en un sólo paquete. Pues bien, éste es el caso del fototransistor y es un fotodetector muy usado.

En un fototransistor, la luz incidente en la juntura colector-base resulta en una fotocorriente de base de entrada al transistor, que se multiplica por la beta $-h_{fe}-$ para producir la corriente del colector. En muchos fototransistores el extremo de la base no es accesible, pero en aquellos en los que sí lo es tendremos un mayor control del dispositivo.

3.5 Características Electro-ópticas de los Fototransistores.-

Debido a las características de funcionamiento del fototransistor, el comportamiento de la relación entre la fotocorriente I_L y la corriente oscura I_D , es análogo a

la del fotodiodo normal. La diferencia es que a la corriente de saturación le llamaremos: I_{cbo} .

El area de la unión colector-base de un fototransistor es mucho mayor que la unión anodo-catodo de un diodo. Debido a esto, existe una mayor capacitancia en la unión base-colector y el dispositivo tiene una respuesta en frecuencia más pobre que un fotodiodo.

Debido a estos factores, el rango de comportamiento lineal de un fototransistor comparado con el analogo de un fotodiodo es muy limitado y por eso es que hay que tener mucho cuidado al decidir si se ha de usar un fotodetector como fototransistor o como fotodiodo.

3.6 Características Ópticas de un fototransistor.-

Son iguales que los fotodiodos. Se incluye la respuesta espectral y la sensibilidad direccional del dispositivo. Las características las proporciona el fabricante en tablas de la siguiente forma:

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_{BE(SB)}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 100 \mu A$	$I_B = 0, V_{CE} = 0$	50			V
$V_{BR}(CB)$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 100 \mu A$	$I_B = 0, V_{CE} = 0$	30			V
$V_{BE(SB)}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 100 \mu A$	$I_C = 0, V_{CE} = 0$	7			V
$V_{BR}(EB)$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 100 \mu A$	$I_C = 0, V_{CE} = 0$	7			V
$V_{BR}(CB)$	Emitter-Collector Breakdown Voltage	$V_{CE} = 10 V$	$I_C = 0, I_E = 0$			0.1	
I_D	Dark Current	Photoresistor Operation		$V_{CE} = 10 V$	$I_B = 0$	30	nA
		Photo diode Operation		$V_{CE} = 10 V$	$I_B = 0$	0.01	nA
I_L	Light Current	Photoresistor Operation		$V_{CE} = 5 V$	$I_B = 0$	5	mA
		Photo diode Operation		$V_{CE} = 5 V$	$I_B = 0$	1.00	nA
I_{CO}	Collector Current Transient Ratio	$V_{CE} = 1 V$	$I_C = 1 mA$			200	
$V_{CE(sat)}$	Emitter-Saturation Voltage	$I_E = 2 mA$	$I_C = 0$			0.3	V

NOTE: 1. All tests are at 25°C free air temperature (unless otherwise noted).
2. For photoresistor operation, the device is an unfiltered silicon photodiode with a spectral response of 0.45 to 0.90 μm.

3.7 Características electricas de los fototransistores.-

La corriente oscura de un fototransistor es la corriente de saturación inversa que fluye en la juntura colector-base polarizada en inversa con la terminal del colector en circuito abierto.

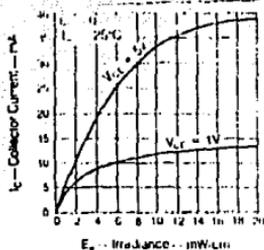
A esa corriente se le llama ' I_{cbo} ' en donde cbo indica juntura colector-base con emisor en circuito abierto. Esta corriente también es amplificada por el transistor y suele darse de dato (la amplificada), y se designa como I_{ceo} donde ceo indica juntura colector-emisor con la base en circuito abierto. Ya que hay tres terminales en el transistor, es posible aplicarle una diferencia de potencial entre: BV_{cbo} voltaje de rompimiento (inverso) entre colector y base con el emisor en circuito abierto, análogamente tendremos el BV_{ceo} y el BV_{ebo} .

Otras características de interés son; la máxima corriente de colector designada como I_c , máxima disipación de potencia, factor de amplificación de corriente h_{fe} (beta), y el voltaje de saturación colector-emisor que es el $V_{ce(sat)}$, y ya que en muchas aplicaciones el transistor se utiliza como switch entre las regiones de corte y saturación, se desea que $V_{ce(sat)}$ sea lo menor posible. El fototransistor puede ser operado como fotodiodo dejando la terminal del emisor abierta y tendría ciertas

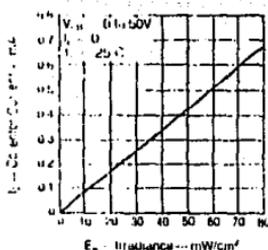
características que son muy importantes. La mayoría de los fabricantes proporcionan información de un fotodetector trabajando como fotodiado y como fototransistor. Aquí tendremos parámetros como la 'Srceo' que es la relación de fotocorriente del colector contra la irradianza teniendo la base abierta, así mismo existirá la 'Srcbo' y la ganancia del transistor esta dada por:

$$B = \frac{Srceo}{Srcbo}$$

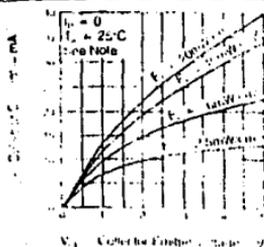
En las figuras siguientes podemos ver las graficas que nos relacionan las corrientes, los voltajes, y las irradianzas para ver como se relacionan entre ellos:



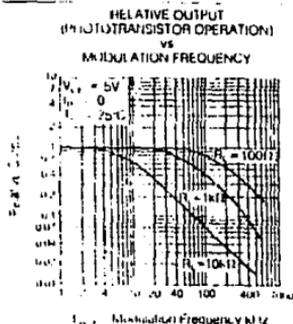
a Collector to Emitter Radiation Sensitivity (Phototransistor Operation)



b Collector to Base Radiation Sensitivity (Photodiode Operation)



c Collector Photocurrent as a Function of Incident Light Intensity



Aquí, en la última figura vemos también la respuesta en frecuencia del dispositivo que es muy importante. La disipación de potencia es análoga a la del fotodiodo y también es necesario calcularla para asegurar que no estamos trabajando por encima de los límites dados por el fabricante.

3.8 Otros Foto-Detectores .-

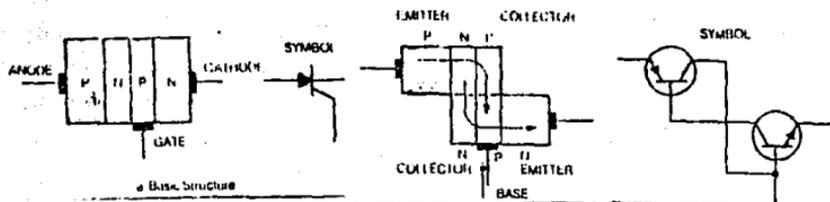
Existen otros dispositivos que también cumplen con la idea de recibir la luz de alguna manera y transformarla en energía eléctrica. Estamos hablando del Foto-FET, el Fotodiodo de avalancha y el fototiristor. Veamos brevemente cada uno de ellos.

a) El FotoFET.- Significa 'Foto Field Effect Transistor' o fototransistor de efecto de campo. Están construidos con tecnología MOS (Metal Oxide semiconductor), no veremos su modo de operación porque de alguna manera es parecido a los que vimos anteriormente, si hay diferencias, pero no nos interesa profundizar en el análisis electrónico de éste dispositivo. Diremos que el fotofet es tal vez un poco más preciso que el fototransistor, su región lineal no es tan amplia pero tiene una respuesta en frecuencia muy superior y mayor ganancia.

b) Fotodiodo de avalancha.- Este tipo de dispositivos son extremadamente sensibles a la temperatura y su ganancia depende mucho de su polarización en inversa. Tienen una respuesta muy rápida en frecuencias cercanas al rango visible-infrarrojo, y suelen usarse en conjunto con un diodo de referencia para perder un poco la sensibilidad a las variaciones de temperatura.

c) Fototiristores.- Un tiristor es un dispositivo de switcheo que puede activarse mediante una corriente de control externa y no la necesitara más una vez que ha sido activado. Un tipo de tiristor es el SCR, 'silicon controlled rectifier' o rectificador controlado de silicio. Estos son usados para manejar grandes corrientes y se necesita un circuito electrónico especial para activarlos externamente. Existe la posibilidad de combinar un SCR con un fotodiodo en un sólo encapsulado que es el llamado fototiristor.

El dispositivo esta formado por uniones PNPN en donde se tiene acceso al cátodo, al ánodo y compuerta del dispositivo, tampoco entraremos en detalles de funcionamiento interno porque se basa de alguna manera en el principio del transistor convencional pero si mostraremos los esquemas de su construcción interna:



En éste caso, los parámetros involucrados son exactamente iguales a los anteriores y sólo añadiremos la I_g 'gate current' o corriente de la compuerta, que viene siendo esa corriente de 'disparo' que activa el dispositivo. Una vez activado, esta I_g puede o no permanecer ahí.

En cualquier caso, ya sea que usemos fotodiodo, fototransistor, fotoFET, etc, siempre tenemos que analizar cuidadosamente sus características y ver que sean lo más compatible posible con el emisor que se pretenda usar, y así, formar un sistema acoplado ópticamente lo más eficiente posible que cumpla lo mejor que se pueda con nuestros requerimientos de diseño.

3.7 Transmisión de información.-

Existen como es de esperarse, muchas maneras de mandar una cierta información desde un lugar a otro. Que medio usar? quien sabe, tal vez depende de la información. Tenemos el caso de la voz humana; si deseamos comunicarnos con otra persona, lo haríamos por medio del teléfono, si se ha de transmitir una imagen, sería por televisión, Si lo que se desea es mandar información a otro país, la

alternativa sería un satélite en fin, siempre habrá varias maneras de hacer que un mensaje sea emitido desde un origen y luego sea recibido en un determinado destino. Cuál es la mejor forma?, la más económica?, la más eficiente? o tal vez la más complicada?, pues a éste nivel no nos interesa saber porque nuestra necesidad ya está definida. Lo que queremos es utilizar un sistema acoplado ópticamente SMO y por eso es que hemos enfocado todo éste estudio a los factores que intervienen en éste tipo de transmisión. Sin embargo era necesario hacer un parentesis para reubicarnos en el universo en el que nos estamos moviendo y ver que hay varias alternativas de hacer esto, pero nunca perdernos de en donde estamos y hacia donde vamos.

3.10 Otros medios de transmisión.-

a).- El rayo Laser: Este medio de transmisión de información ha sido utilizado en la actualidad con éxito. Habíamos visto que Laser significaba 'Amplificación de Luz mediante la Emisión de Radiación Estimulada'. Esto suena muy complicado, pero a fin de cuentas se trata de concentrar una haz de luz lo más fino posible obteniendo como resultado una densidad de energía enorme en el haz, que tiene varias aplicaciones comerciales en la industria. Pues bien, una de ellas es la transmisión de información,

esto es, podemos transmitir información mediante un rayo Laser. No es la idea entrar al detalle de su funcionamiento pero si diremos que, como toda, tiene sus ventajas y sus desventajas, que es otro medio de transmisión, y que se usa para aplicaciones comerciales.

b).- La Fibra Optica.- También esta siendo muy utilizada hoy en día y cada vez se tiende a darle más aplicaciones comerciales. Dada su importancia, aquí tal vez si valga la pena detenerse para ver a groso modo como es que se lleva a cabo la transmisión en éste dispositivo.

Un concepto que se maneja aquí es el de la reflexión: Se plantea que si nosotros mandamos una señal con un cierto ángulo hacia una superficie plana, la señal rebotará y saldrá despedida con el mismo ángulo con el que entró respecto a la normal de la superficie y además afectada por un cierto factor de atenuación que queda fijado por el material sobre el cual rebotó la señal.

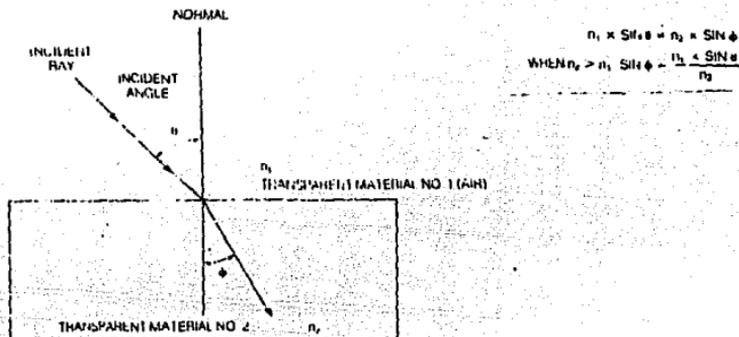
Los parámetros
los vemos en
esta figura:

en donde: $\theta = 0$

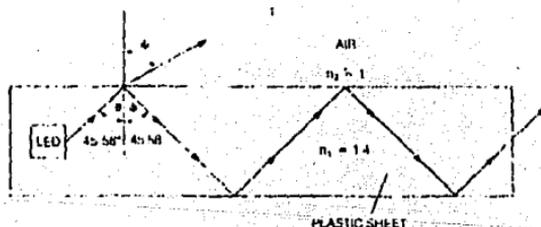


Una cosa interesante que hay que notar, es que para un mismo material el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, esto es muy importante. El segundo factor a considerar es el llamado 'índice de refracción',

que establece que si un haz no es reflejado por un material, pasara a través de el, pero sufrirá una desviación en su trayectoria:



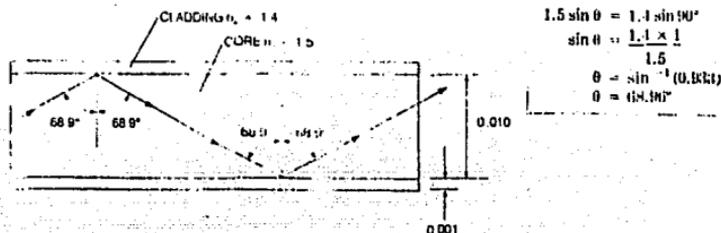
El último punto a considerar, es el llamado; 'ángulo crítico'. Se trata de encontrar aquel valor del ángulo de incidencia para el cual el haz, o se refleja, o bien rebota. Dentro del límite del ángulo, parte se reflejará y parte pasará a través y se dice que se 'pierde'.



Obviamente todos estos conceptos están física y matemáticamente fundamentados y existen formulas

trigonométricas para calcular todos los ángulos.

Pues bien, una fibra óptica, es aquel material dispuesto de tal forma que es cilíndrica, con dos materiales diferentes -uno envolviendo al otro- que tienen diferente índice de refracción:



El haz de luz se manda de tal modo que el ángulo crítico nunca se presente, y entonces todo el haz se refleja en la superficie del material una y otra vez y la onda 'viajará' a lo largo de la fibra hasta llegar al otro extremo. Aun más, es posible doblar la fibra -dentro de ciertos límites- sin que las propiedades se pierdan. Es posible mandar señales de muy baja potencia a través de largas distancias debido a las bajas pérdidas. Al igual que todo, presenta ciertas ventajas y desventajas.

Y ahora volvamos a donde estábamos; transmisión de información mediante la utilización de la Optoelectrónica.

Teniendo ya entendida la idea de lo que es un sistema acoplado ópticamente, las partes que lo integran y

todas sus características, ya podemos concretar, o tornar estas ideas en algo más tangible, tenemos las herramientas para volcarnos sobre la solución a nuestra necesidad.

Dadas las múltiples aplicaciones que podríamos darle a un SAG, en éste momento sólo nos interesará un concepto en concreto: Transmitir una señal de un lugar a otro a través del aire por medio de un SAG. Y no hay que perdersnos; no es porque sea la forma más eficiente, ni la más barata, ni la peor, ni la mejor, es simplemente la que estamos interesados en utilizar.

CAPITULO IV

EL SONIDO

El conocimiento de la existencia del sonido es tan antiguo como el hombre mismo, pero en aquellas épocas tan lejanas solamente se podía conocer su relación causa-efecto, pero jamás tener una explicación de su comportamiento ni de su transmisión y mucho menos de sus propiedades.

Muchos cientos de años tomó al hombre el ahondar dentro del estudio del sonido, entender su comportamiento y formular las leyes físicas y los postulados matemáticos que lo rodean. Con la ayuda de la tecnología moderna se ha podido diseñar y construir aparatos de medición muy precisos y toda la instrumentación necesaria para poder comprobar las teorías propuestas en el pasado y descifrar los misterios que encierra aquello que asociamos dentro de nuestro cerebro como un sonido

Al igual que muchos otros efectos físicos, el sonido debe tener un principio, una duración y un fin. Asociemos a estos conceptos que el principio es aquel momento en que se genera el sonido, la duración al tiempo que tarda en llevarse a cabo su transmisión, y el final a aquel instante en el cual el sonido deja de ser recibido.

Nuevamente nos enfrentamos a una pregunta interesante: que es el sonido? difícil pregunta. Afortunadamente, al igual que en el caso de la luz, no debemos preocuparnos demasiado porque mucho se ha

investigado al respecto y mucho mas de lo que necesitamos entender a este nivel. El meternos a un profundo estudio del término nos llevaria varios meses y tal vez nos quedarían todavía muchas interrogantes. Para nuestro proposito valdrá con entender que el sonido se produce al chocar dos objetos entre sí creando un frente de onda longitudinal de energía electromecánica que viaja en forma concéntrica y radial provocando un choque sucesivo entre las moléculas circundantes del medio que la rodea.

4.1 El espectro Electromecánico.-

Existen multiples fuentes generadoras de sonido que emiten ondas a distintas frecuencias. El oído humano tiene una sensibilidad capaz de detectar ondas cuyas frecuencias sean superiores a los 16 Hz e inferiores a los 20,000 Hz, sin embargo, el hecho de que una onda tenga una frecuencia inferior o superior a ese rango y no la podamos escuchar, no significa que no existe. De hecho, las frecuencias audibles ocupan un muy bajo porcentaje dentro del espectro electromecánico.

El término que utilizaremos para designar a las ondas cuyas frecuencias sean inferiores a los 16 Hz será: infrasonicas y para aquellas que sean mayores de 20,000: ultrasónicas. El espectro quedará estructurado de la siguiente forma:

hertz	0-----10+-----100-----1000--1EE4+-----1EE5----->
ondas	ondas
infrasónicas	rango ultrasónicas
-----	audible -----
rango	rango
inaudible	banda de inaudible
	radiofrecuencia
frec. en Hz :	14 20,000
long. de	2,125 1.7
onda en cms.	

A su vez el rango audible se divide en tres niveles de audiofrecuencias:

frecuencias	Hertz	long. de onda
bajas	10 - 510	2,125 - 133
medias	512 - 1024	66 - 33
altas	2048 - 20,000	17 - 1.7

El rango inaudible ultrasónico se subdivide en 3 niveles:

frecuencias	Hertz	long. de onda
bajas	20,000 - 100,000	1.7 - 0.3
medias	100,000 - 1,000,000	0.6EE-1 - 0.3EE-3
altas	mayor de 1,000,000	menor de 0.6EE-4

La utilización de frecuencias ultrasónicas por encima de un millón de hertz es muy frecuente hoy en día y debido a la dificultad de manejar un parámetro tan grande, se creó un múltiplo llamado Megahertz [Mhz] que equivale a un millón de hertz: 1 Mhz=1EE6 Hz.

Un detalle interesante que podemos notar con esta información es que si recordamos el espectro electromagnético de la luz, veremos que el color rojo tiene una longitud de onda de 0.7 EE-4 cm. y aquí vemos que el rango superior de los ultrasonidos cae también en los 0.7 EE-4 cm. esto es, son dos ondas que tienen la misma frecuencia, sin embargo no debemos olvidar que la

emisión de luz es de naturaleza electromagnética y la radiación de sonido es de naturaleza mecánica.

4.2 Fuentes de ondas.-

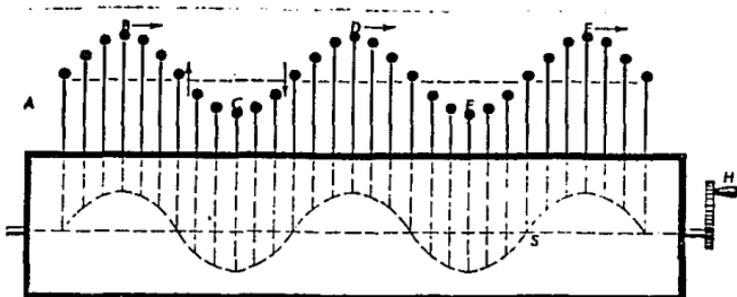
El movimiento de cualquier objeto material puede ser considerado como una fuente de ondas; una tabla que golpea el agua, un chasquido de los dedos, una nota emitida por un instrumento musical, etc. Supongamos que el extremo lejano de un cable está atado a un poste y que en el extremo opuesto se sujeta con la mano. Si súbitamente se le da al cable una sacudida hacia arriba y hacia abajo, veremos como se genera una deformación en el cable que comienza a viajar a través de él, llegará al poste, y regresará nuevamente hasta nuestra mano. Se dice que hemos generado una onda de movimiento llamada impulso. Si en lugar de mandar un impulso único, la mano se moviese hacia arriba y hacia abajo con un movimiento armónico continuo, lo que lograríamos sería generar un 'tren de ondas' que viajarán de ida y vuelta a lo largo del cable. Cuando se hacen vibrar las ramas de un diapasón, estas producen un movimiento periódico que golpearán las moléculas de aire próximas a ellas, estas golpearán a sus vecinas y estas a otras, etc. transmitiendo la alteración en todas las direcciones alejándose del diapasón. Tales perturbaciones también constituyen un tren, en este caso,

de ondas sonoras.

Según el tipo de naturaleza de la fuente que genere la onda, es posible tener diferentes tipos de ondas, a continuación veremos muy brevemente algunas de ellas:

a) Ondas transversales.-

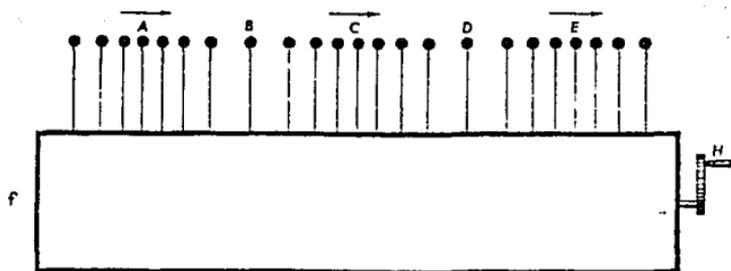
Las ondas transversales son aquellas en las cuales cada una de las partículas vibra sobre una línea perpendicular a la dirección de propagación. A lo largo de cualquier línea de avance, todas las partículas están vibrando en un solo plano y dado que el frente de onda tiende a alejarse del origen se dice que la onda 'avanza' con cierta dirección. La luz es un ejemplo del movimiento de ondas transversales.



Esquema de una máquina de ondas para demostrar las ondas transversales.

b) Ondas longitudinales.-

Las ondas longitudinales son aquellas en las cuales las vibraciones se producen a lo largo de líneas paralelas a la dirección de propagación. Cada molécula de aire vibra adelante y atrás alrededor de una posición de equilibrio a medida que pasa por ellas el tren de ondas. Las ondas de sonido son un ejemplo de tipo de onda longitudinal.



Esquema de una máquina de ondas para demostrar las ondas longitudinales.

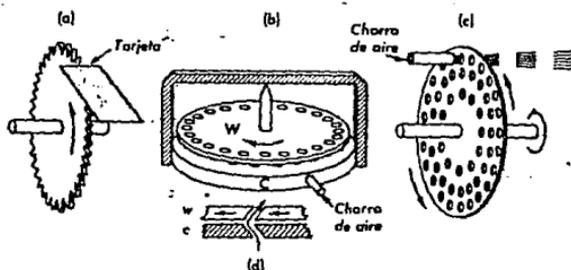
c) Ondas estacionarias.-

Casi todas las ondas sonoras que emanan de los instrumentos musicales son resultado de ondas estacionarias. Este tipo de ondas se pueden presentar en cualquier sustancia ya sea sólida, líquida o gaseosa, por medio de dos trenes de onda de igual frecuencia que avanzan en el mismo medio pero en sentido contrario. A la frecuencia correcta, se creará un fenómeno que hará que en

4.3 Generadores de sonido.-

Existen actualmente múltiples fuentes generadoras de ondas sonoras ya sean naturales, como la lluvia, los relámpagos, el viento, etc. o artificiales, como los instrumentos musicales, las máquinas, el romper de un objeto, etc que de alguna manera se combinan para formar todos los sonidos que podemos oír y aun aquellos que no podemos detectar.

Si en una rueda de Savart se imprimieran grandes velocidades de rotación, el sonido generado fácilmente sobrepasaría los 20,000 Hz.



Igualmente una corriente de aire que penetre con la suficiente velocidad por un tubo sonoro de adecuadas características, también podrá emitir ultrasonidos. No obstante, no es mediante dispositivos mecánicos como se consiguen las frecuencias más elevadas, para ello se recurre a la ayuda de la electrónica.

El efecto deseado se obtiene al aplicar una diferencia de potencial a materiales piezoeléctricos como la turmalina, los cristales de cuarzo, la sal de Rochela o de titanito, etc. En estos casos se utiliza la propiedad de la resonancia natural del elemento para provocar una oscilación máxima y perpetua mientras se mantenga presente la diferencia de potencial. Las fórmulas matemáticas que respaldan estos conceptos fueron el resultado de muchos años de estudio y de experimentos y están aún en constante evolución, cada vez se encuentran nuevas combinaciones de elementos que aumentan la eficiencia de vibración y disminuyen en tamaño físico de los dispositivos. Más adelante se tratará en detalle algún dispositivo que hemos de utilizar para la realización de este proyecto.

4.4 Características del sonido.-

Una onda sonora tiene asociada una serie de características y propiedades que la distinguen de las demás ondas y que brevemente podemos agrupar bajo los siguientes conceptos:

a) La velocidad.-

La onda sonora puede propagarse a través de diferentes medios, ya sean estos sólidos, viscosos,

gaseosos, etc. Cada medio, puede estar sujeto a diferencias intrínsecas de presión, densidad, temperatura, etc. lo que afectará de manera determinante el movimiento de propagación de las ondas sonoras. Después de estudiar este fenómeno en el aire, y en otros medios, se llegó a la siguiente relación:

$$V = \sqrt{\frac{1.4 \times P}{D}}$$

en donde:
 V = velocidad de la onda sonora
 D = densidad del medio
 P = presión

En el caso del aire que es el medio que nos interesa, la densidad es de 0.0013 g/cm³ - el vapor de agua tiene 0.0008 g/cm³, la humedad influye mucho - y la presión será la atmosférica, con lo que llegamos a que la velocidad de la onda sonora en el aire es de 340 m/seg, cantidad que se ha estandarizado y generalmente se toma como una constante universal.

b) El tono.-

Ya habíamos visto que el período T es el tiempo necesario para que se genere una longitud de onda [L] completa. Si V es la velocidad del sonido, se cumplirá que $L = V \times T$ y el período es el inverso de la frecuencia, tendremos entonces que $V = L \times F$ y si la velocidad de la onda es constante, se deduce que L y F deben ser recíprocas; lo son. El tono de una onda está caracterizado por su frecuencia, son denominados sonidos de tono grave los que tienen baja frecuencia y agudos a los que tienen alta

frecuencia.

c) Intensidad.--

Segun el vigor que la perturbación produce en las moléculas, el sonido será mas o menos intenso. Este vigor se traduce en una variación en la amplitud $[A]$ de oscilación en la vibración molecular. Como el sonido consiste en un transporte de energía comunicada por la perturbación del aire, podrá definirse a la intensidad $[I]$ como la cantidad de energía que por segundo atraviesa una unidad de área de 1 cm^2 . En este caso la intensidad queda definida por:

$$I = \frac{P^2}{2 \times D \times V} \quad \text{que sustituyendo es} \quad I = \frac{P^2}{4} \times 10^{-8}$$

en donde vemos que la intensidad de un sonido es independiente de la frecuencia pero directamente proporcional al cuadrado de la presión del medio. La unidad usual para medir una presión es el 'bar' que es la presión que ejerce una dina sobre 1 cm^2 . Expresando en la fórmula anterior la presión en bars, la intensidad queda definida en watts/cm^2 cuyos submúltiplos serán; microbars = 10^{-6} bars y microwatts = 10^{-6} watts. La intensidad sonora también puede quedar expresada en función de los 'ergs' de la siguiente forma: $1 \text{ w/cm}^2 = 10^{-7} \text{ erg/cm}^2$. Igualmente en función del pascal que es la presión ejercida por 1 Newton en 1 m^2 como 1 pascal = 10 bars.

d) El Timbre.-

Si en la rueda de Savart se cambiará la cartulina por una placa de metal con el mismo diseño, el oído distinguirá una diferencia en el sonido. Esa diferencia la proporciona el llamado timbre, que es lo que hace que distingamos entre un Do de piano y un Do de flauta ambos a la misma frecuencia.

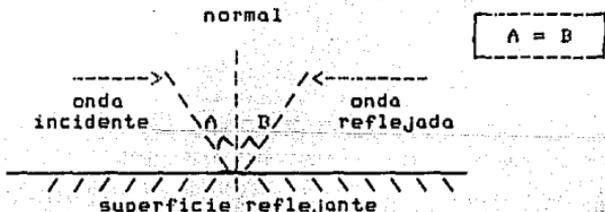
Físicamente, consiste en frecuencias secundarias mayores y menores que se superponen a la fundamental siendo de menor intensidad. Una cuerda tirante por ejemplo, vibra según leyes conocidas dependiendo de su longitud y de la tensión a la que este sujeta. El sonido que se produce estará compuesto por una frecuencia fundamental de máxima intensidad y por múltiplos de frecuencias a ella de menor intensidad llamadas 'armónicas'. En el caso de los instrumentos musicales, cada uno tiene su timbre; genera una frecuencia fundamental y algunas armónicas; primera, segunda, tercera, etc. y algunos muchas más. Un sonido puro es aquel que no tiene armónicas. El aparato utilizado para el análisis de este tipo de sonidos es el analizador de espectros, en el cual al recibir el impulso deseado hace aparecer en la pantalla su frecuencia fundamental y las armónicas asociadas.

4.5 Propiedades del sonido.-

Las ondas sonoras tienen un comportamiento definido y su movimiento respeta ciertos principios basados en leyes físicas y mecánicas como es el caso de la reflexión, la refracción, el eco, etc. A continuación veremos brevemente a qué se refiere cada una de ellas.

a) La reflexión:

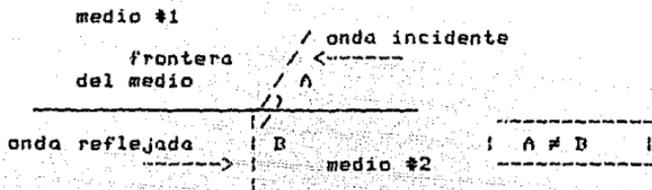
Sea una superficie determinada que las ondas sonoras no pueden penetrar. Imaginemos una normal a esa superficie. Si una onda sonora incide a la superficie con un cierto ángulo con respecto a la normal, la onda rebotará y será reflejada en una dirección simétrica con un ángulo de reflejo idéntico al de incidencia. Vemos que es un proceso igual al que ocurre en el caso de un haz de luz tratado en capítulos anteriores.



b) La refracción:

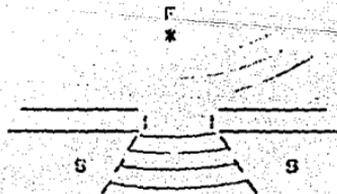
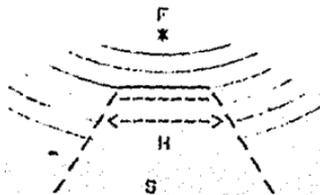
La velocidad de una onda sonora depende, entre otros factores, de la densidad del medio por donde viaja.

Si en un momento dado la onda al ir en su viaje cambia de medio, y este tiene una densidad diferente que el anterior, la velocidad de la onda sufrirá un cambio que provocará una variación en la dirección que llevaba la onda inicialmente. La refracción entonces se entiende como el cambio de dirección que sufre una onda sonora al pasar de un medio a otro que tiene diferente densidad.



c) La difracción:

Se refiere a la propiedad que tiene un frente de onda de poder rodear los obstáculos que se encuentre en su camino y continuar su viaje aun en otra dirección. Si una onda sonora llega a una esquina el frente de onda generará un segundo frente que tenderá a dar la vuelta a la esquina propagándose en una segunda dirección.





donde S es la sombra acustica

si $H < L$	S no existe
si $H = L$	S es pequeña
si $H > L$	S es notable

d) El eco:

Es una consecuencia de la reflexión de la onda sonora. El oído humano tiene una respuesta auditiva de alrededor de $1/12$ seg, esto es, puede distinguir un sonido diferente cada doceavo de segundo. Supongamos que tenemos un generador de impulsos acústicos situado a una cierta distancia de una pared. Un hombre se coloca en algún punto entre el generador y la pared. Al ocurrir el impulso, la onda viajará a 340 m/seg, -onda directa- llega al oído humano -éste la detecta y luego deja de hacerlo porque es un impulso-, la onda se sigue, choca contra la pared, rebota y viene de regreso pasando por el oído por segunda vez -onda reflejada- pero un cierto tiempo después, ya que tarda más en ir a la pared, rebotar y regresar. El efecto del eco es entonces el escuchar dos veces el mismo sonido cuyas ondas directa y reflejada están separadas por un cierto intervalo de tiempo debido al rebote de la onda. Para que no exista el eco, la diferencia límite entre los caminos recorridos por la onda directa y la reflejada deberá ser de $340/12 = 28$ mts, si la distancia es superior aparecerá al eco.

e) La reverberación:

Tomemos como base el caso del hombre, el generador y la pared del incisivo anterior. La diferencia ahora será que la fuente es un generador de pulsos -mayor duración que un impulso- y se repite el experimento. La onda sale de la fuente, llega al oído humano, éste la detecta, se sigue, rebota en la pared y llega de regreso al oído, pero como la fuente sigue emitiendo frentes de onda, se tiene que por un lado llega la onda directa y por el otro la reflejada al mismo tiempo, la sensación escuchada se denomina reverberación.

f) La resonancia:

Todos los cuerpos capaces de vibrar lo hacen siempre a la misma frecuencia. La vibración podrá ser más o menos intensa según el estímulo recibido pero su frecuencia de oscilación no se modificara. Es una propiedad intrínseca de cada material. A esa frecuencia se le conoce como frecuencia natural.

Si una onda sonora viaja por el aire a una cierta frecuencia y choca contra un material que tiene una frecuencia natural igual a la de la onda, el material comenzará a oscilar progresivamente hasta alcanzar su límite de resistencia mecánica, si ese límite es mayor que la intensidad de la onda el material vibrará a su máxima capacidad hasta que desaparezca la onda, pero si el

límite es menor, el material encontrará su destrucción. Así pues, al chocar una onda con un material y sus frecuencias naturales son iguales, aparecerá la resonancia.

4.6 Los transductores Eléctricos.-

Existen muchas ocasiones en las que el sonido en su forma de energía de onda electromecánica no sirve para nuestro fin. Deseamos utilizar esa energía sonora pero para activar otros sistemas, ya sean mecánicos, eléctricos, termodinámicos, etc. o que forme parte integral de un sistema mayor en el cual el sonido se encuentra como un subsistema. Se requiere transformar la energía sonora en otro tipo de energía que podamos manejar. Surgen entonces los llamados 'transductores eléctricos', término que se asocia a cualquier dispositivo capaz de transformar energía de algún dominio al dominio de la electricidad, o sea, algún dispositivo que transforme energía térmica, mecánica, acústica, luminosa, etc. en energía eléctrica.

Esto es muy importante porque en múltiples ocasiones conviene transformar la energía sonora al dominio de la electricidad, trabajar con ella, y luego volverla a su forma electromecánica. El caso más sencillo es el de una grabadora; las cuerdas vocales generan una

onda sonora, el microfono transforma esos frentes de onda en impulsos eléctricos, llegan a un cassette cuyas moleculas quedan polarizadas de cierta forma que al pasar por la cabeza producen impulsos magnéticos que a su vez llegan a la bocina en donde son vueltos a ondas sonoras. Las aplicaciones resultan infinitas. El hecho de poder transformar la energia sonora en otro tipo de energia y viceversa tiene un enorme potencial que, por supuesto, emplearemos más adelante en este proyecto.

a) El microfono:

Es el transductor sonoro más utilizado en la actualidad. Es un dispositivo electrónico que tiene la capacidad de transformar la energia sonora en energia eléctrica. Se utilizan para la transmisión de información de voz humana, telefonía, eventos culturales, música, etc. forman una parte muy importante de cualquier sistema de comunicación.

b) La cabeza magnética:

Es otro tipo de transductor que se encarga de transformar la energia eléctrica en energia magnética y viceversa. Son ampliamente utilizadas en los sistemas de comunicación, sistemas de audio, computadoras etc. y forman la pieza clave de un sistema de transmisión de información.

c) La bocina:

Es un dispositivo que tiene la capacidad de transformar la energía eléctrica en ondas sonoras para que la información manejada pueda ser escuchada por el hombre. Su aplicación comercial es infinita y también forma parte importante de los sistemas de comunicación.

Podríamos seguir mencionando muchos transductores más, pero no tiene caso. El concepto general es el que nos interesa; queremos saber que existen dispositivos que pueden transformar la energía en forma de onda electromagnética en otro tipo de energía que podemos usar y manejar como más nos convenga.

4.7 Los Decibeles.

El decibel es una unidad de medición y es ampliamente utilizada en los sistemas de comunicación, y ya que el nuestro es un sistema de éste tipo o de transmisión de información, queremos entender éste concepto.

Las bases que rodean al término de decibel tienen su origen hace mucho tiempo en el hecho que establece que la potencia de una señal sonora y los niveles de audio que representa, están relacionados sobre una base logarítmica. Esto significa que un aumento en el nivel de potencia, digamos de 4 a 16 watts, no implica que el mismo

nivel de audio se vea incrementado por un factor de $16/4=4$ veces. En realidad aumentará en un factor de 2 que se deriva de la potencia de 4 de la siguiente forma: $4^2=16$. Análogamente, para un cambio de 4 a 64 watts en la potencia, el nivel de audio se incrementará en un factor de 3 ya que $4^3=64$. Si escribiesemos esto en forma de logaritmo quedaría; $\log(\text{base } 4)64=3$.

Así como aquí se utilizó una base de 4, podríamos utilizar una base de 6, 7, 12, etc. y para lograr una estandarización universal en los cálculos se tomó como base el 10, proposición hecha originalmente por el Sr. Graham Bell, razón por la cual a la relación de potencias involucradas en base 10 se le llamó 'bel', y la ecuación resultante fue: $S = \log(\text{base } 10) P_2/P_1$ [Bels].

Esta relación se traducirá en una base de comparación de los niveles de audio debido a cambios en los niveles de potencia de una señal. Se ha encontrado sin embargo, que el Bel es una unidad de medida muy pequeña para fines prácticos, de tal suerte que se definió un múltiplo de 10 de la unidad llamado: 'decibel' [dB] que será: $1 \text{ Bel} = 10 \text{ decibeles}$. Por consiguiente: $GdB = 10 \log (\text{base } 10) P_2/P_1$ [dB].

Se asocia al término P_2 como la potencia de salida y a P_1 como un nivel de referencia estandarizado de 1 miliwatt (1 mw). Ahora ya sabemos las unidades estandarizadas en las que se mide el efecto sonoro y la

relación que existe entre ellas, éstos conceptos los utilizaremos más adelante.

CAPITULO V

SISTEMAS DE

COMUNICACION

La ingeniería de comunicaciones es la ciencia que se dedica a estudiar la transmisión de información de un punto a otro. Este problema se presenta en las emisiones de radio, televisión, comunicación por satélite, comunicación por medio de líneas telefónicas, sistemas de telemetría, sistemas a control remoto, etc...

Las señales se pueden transmitir de un lugar a otro por un canal que puede tener la forma de línea de transmisión --como un canal telefónico-- o simplemente por el espacio abierto, en el cual se reciben las señales portadoras de información deseada --como la difusión por radio, televisión, satélite, etc.).

En general, cualquier señal de transmisión tiene lo que conocemos como un ANCHO DE BANDA, o sea, esta contenida dentro de un rango finito en el dominio de la frecuencia. La voz humana esta contenida entre los 300 y 2,000 Hz, el oído detecta aquellas frecuencias que oscilen entre los 20 y 20,000 Hz, etc.

Si deseamos comunicarnos a través del aire con otra persona por medio de la voz bastará con hablar, pero si son treinta personas las que hablan a la vez, hay las mismas fuentes emisoras de ondas sonoras que detecta el oído al mismo tiempo, las señales se mezclan y la información resulta inteligible.

Si habláramos del radio, sucedería exactamente lo

mismo, si se radian mensajes provenientes de cincuenta estaciones diferentes todas se superpondrían y no entenderíamos nada, tendrían que transmitir una por una al igual que lo harían las personas, una a la vez.

Ahora bien, generalmente, cualquier señal transmitida tiene un ancho de banda finito muy pequeño comparado con el ancho de banda del canal por donde viaja, por lo tanto, si sólo se transmite una señal por canal, este no se aprovecha adecuadamente ya que se le hace funcionar muy por debajo de su capacidad de transmitir información.

Los estudios sobre la teoría de comunicaciones han permitido realizar esta tarea, y se han desarrollado métodos que, con ayuda de la electrónica, es posible transmitir varias señales provenientes de una misma fuente a la misma frecuencia a través del mismo medio sin que se interfieran.

La idea es ver algunos métodos que se utilizan actualmente enfocándolos para alcanzar los propósitos de nuestro proyecto.

5.1 La Multicanalización.

El término de multicanalización se asocia a la idea de tener un mismo canal de transmisión sirviendo para diversos fines al mismo tiempo y así aprovechar la

capacidad del canal a la máxima eficiencia posible.

Para tal efecto, existen varios metodos a utilizar pero dos de ellos son los que más se usan: la multicanalización por division de tiempo y la multicanalización por division de frecuencia.

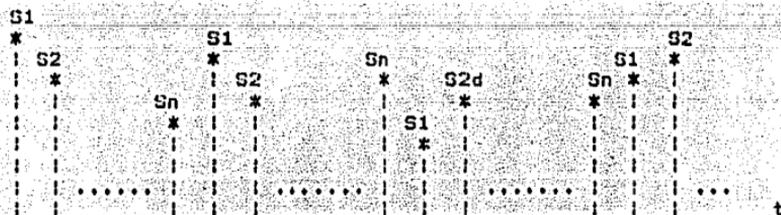
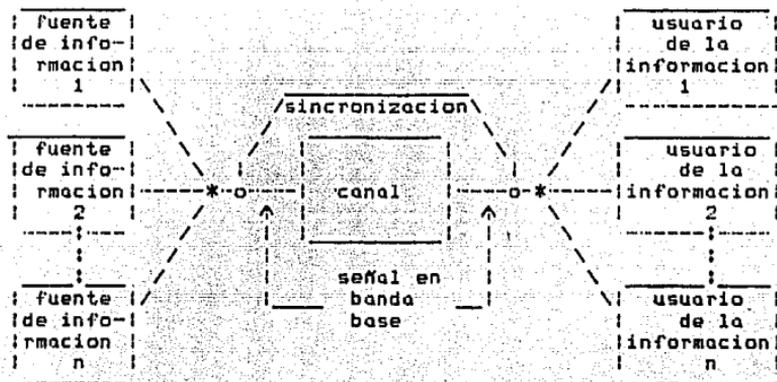
a) Multicanalización por division de tiempo:

Este tipo se basa en el principio de poder mandar señales a través de un canal de transmisión de modo que no se traslapen en el dominio del tiempo enviando una a la vez. La funcionalidad del metodo esta contemplada en lo que conocemos como el muestreo. La teoria del muestreo establece que se puede entender una señal de tipo continúa aun cuando no se reciban totalmente cada uno de los puntos correspondientes a la onda, esto es, se pueden tomar un cierto numero de muestras de la señal continua y con esas muestras volver en un futuro a reconstruir toda la onda en su forma original. Esta teoria ha sido ampliamente estudiada y se han encontrado resultados muy interesantes, se ha llegado a formular postulados como el teorema de Nyquist que trata sobre la frecuencia a la que se deben tomar las muestras de una señal continua para despues poder volver a recuperarla. (ver Ap. A)

Con este método, existe la posibilidad de tener digamos 3 difernetes señales a transmitir por el aire, en el circuito emisor se tiene un muestrador que emite una

muestra de la primera, después una muestra de la segunda, luego una de la tercera, para después reiniciar el ciclo mandando la segunda muestra de cada señal, después la tercera, etc. hasta terminar de mandar todas las señales muestreadas.

En el receptor, se tiene otro circuito muestreador que se sincroniza con el emisor para que reciba las muestras de las señales y reconstruya la forma de onda continua originales para después procesarlas según se requiera en cada caso.

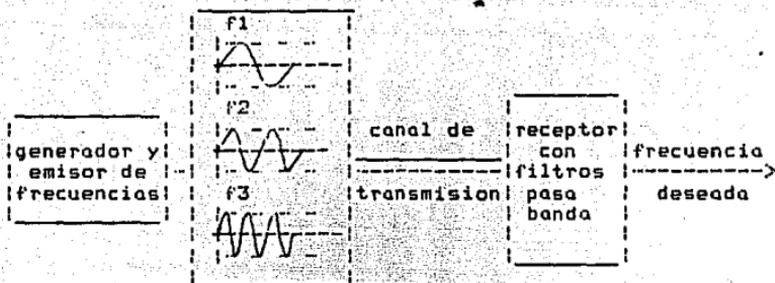


b): Multicanalización por división de frecuencia:

Este método está fundamentado en la propiedad que tiene una señal de estar en una cierta localización dentro del espectro de frecuencias y ser trasladada a otra posición dentro del mismo espectro sin perder el contenido de su información. Es posible, mediante diversas formas, tomar una señal que tiene una cierta frecuencia base y transformarla en otra señal que lleve la misma información de frecuencia mucho más alta. El caso más ilustrativo lo tenemos con el radio, la frecuencia base de la voz de los locutores está alrededor de los 400 Hz, y de ahí es trasladada a valores de frecuencias que oscilan entre los 88-108 Mhz -en el caso de FM- para su transmisión, y después son devueltas a una frecuencia que pueda detectar el oído humano. Lo mismo pasa con la música, en ese rango están alojadas más de 30 estaciones radiodifusoras.

Para detectar esas señales, se dispone de un instrumento capaz de captar un cierto rango de frecuencias para después poder seleccionar, mediante un proceso de filtrado, aquella única frecuencia con la que nos interesa trabajar. Esta propiedad que tiene este tipo de multicanalización será utilizada en este proyecto y por esa razón, nos detendremos un poco para analizar todos los parámetros involucrados y así poder entender mejor el manejo de información cuando la deseamos transmitir de un

punto a otro a través del espacio.



5.2 El espectro de frecuencia.

Toda señal en forma de onda sonora ya sea que provenga de fuentes naturales o artificiales tiene asociada una determinada frecuencia, no importando si esta en el rango audible o inaudible para el oído humano.

Como se mencionó en el capítulo anterior, una onda sonora tiene asociados ciertos parámetros como el tono, intensidad, timbre, etc. que son los que hacen que la onda quede perfectamente definida, vimos que la diferencia entre una nota musical producida por un piano o una guitarra consistía en el número de frecuencias armónicas que se generaban alrededor de la frecuencia fundamental que identificaba la nota. Pues bien, ahora tenemos que interrelacionar todos esos conceptos en el terreno que nos interesa que en este caso es el que conocemos como el espectro de frecuencia.

Este espectro de frecuencia, en realidad es una escala sobre la cual se miden todas las frecuencias existentes, y en teoría su rango se extiende desde los cero hertz hasta el infinito. Obvio es que en la realidad el infinito nunca se alcanza y las frecuencias más altas alcanzadas tienen un límite al igual que los instrumentos para medirlos. Así pues, aunque el espectro de frecuencia extienda físicamente sus límites al infinito, en realidad está acotado por la máxima frecuencia descubierta por el hombre. A lo largo de los años éste límite se ha ido alejando del origen y se espera que así lo siga haciendo aumentando así la eficiencia del canal de transmisión que en este caso es el aire.

Existe lo que en comunicaciones se conoce como una señal pura. Este tipo de señales se diferencia de todas las demás porque no tiene armónicas, o sea, la señal es el producto de una sola frecuencia fundamental. No es sencillo obtener este tipo de señales aun en el laboratorio, pero es posible hacerlo mediante instrumentos electrónicos especiales y se utilizan para llevar a cabo experimentos de laboratorio muy específicos.

Si con un analizador de espectro vemos el espectro correspondiente a una señal pura, observaremos una línea vertical alojada sobre su frecuencia correspondiente con una cierta magnitud. Esta línea denota la frecuencia fundamental de la señal. En el caso de que alimentemos

al analizador con una señal normal, cualquiera -no puramente- tal como la nota musical de un instrumento, lo que observaremos en la pantalla será la presencia de una frecuencia fundamental de máxima magnitud y, a su lado de menor magnitud, aparecerán las frecuencias armónicas asociadas alojadas simétricamente a derecha e izquierda de la fundamental, siendo en cualquier caso, múltiplos enteros de la frecuencia original. La señal puede tener una armónica, dos, tres, o más dependiendo de la naturaleza de la fuente generadora.

Es a través de este instrumento electrónico que podemos ver las diferencias entre dos señales que tienen la misma frecuencia natural pero que provienen de dos fuentes totalmente distintas en su naturaleza como sería el caso que mencionábamos del piano y la flauta.

Este instrumento de medición es muy utilizado en la ingeniería de comunicaciones, ya que nos da mucha información acerca de la señal con la que se alimenta tal como su magnitud, su frecuencia fundamental, las armónicas asociadas, niveles de ruido, etc. En nuestro caso, la utilización de este instrumento no será necesaria, ya que para nuestros fines no es necesario conocer estrictamente ni cuantas ni como son las armónicas de nuestra señal, sólo nos interesa saber el comportamiento de la componente de frecuencia fundamental, mismo que podemos calcular mediante procesos matemáticos

regidos por los componentes que utilizaremos y en todo caso se verificará con la ayuda de un osciloscopio .

Al momento de ejercer una acción para trasladar una señal de un lugar del espectro a otro, surgen variantes no previstas como es el de un aumento en el ancho de banda con respecto al original, y por eso conviene conocer su representación dentro del espectro de frecuencia para después volver esa señal trasladada una réplica exacta de la original.

5.3 Técnicas de Modulación.

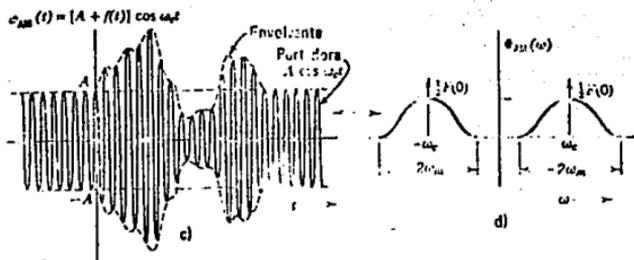
Para poder trasladar una señal de un lugar a otro dentro del espectro de frecuencias, se necesitan cumplir una serie de condiciones que en conjunto harán posible tal tarea. El establecer estas condiciones corresponde al estudio de una rama de la ingeniería de comunicaciones conocida como la modulación. Aquí se estudian todas las condiciones que se deben satisfacer para llevar a cabo un corrimiento en frecuencia de cualquier señal así como las consecuencias ya sean beneficiosas o perjudiciales que presentan durante el proceso.

Comunmente, el proceso de modulación traslada una señal portadora de información conocida generalmente

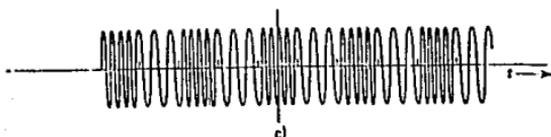
como mensaje a una nueva localización espectral y existen varias maneras de llevar a cabo la translación de una señal en el dominio de la frecuencia y cada una de ellas tiene sus ventajas y sus desventajas que serán medidas en una balanza que realiza el diseñador en donde, de acuerdo a la necesidad, se escogerá un metodo en especial.

Entre las técnicas de modulación mas utilizadas encontramos la modulación en amplitud, cuyo método consiste en controlar la amplitud de la señal, la modulación angular, cuyo metodo consiste en controlar la variación de frecuencia de la señal, la modulación en fase, que contempla los cambios de fase de la onda, la modulación por pulsos, en la cual se involucra toda la teoria del muestreo ya que el metodo consiste en muestrear la señal analógica y trabajar con las muestras mediante la multicanalización por division de tiempo. En fin, todos los métodos son validos y funcionan, y son utilizados en la actualidad en los sistemas de transmisión de información en la ingeniería de comunicaciones. A continuación tenemos las graficos que nos muestran las diferencias:

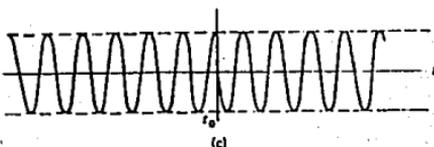
- modulación en amplitud:



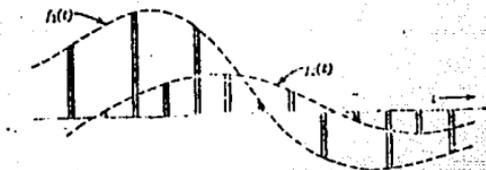
- modulación en frecuencia:



- modulación en fase:



- modulación por pulsos



La modulación analógica agrupa los dos tipos básicos de modulación con los que se trabaja una señal,

siendo estos; la modulación por onda continua y la modulación por pulsos.

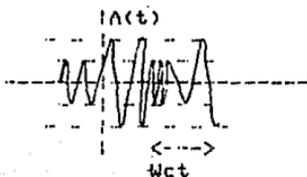
En la modulación por onda continua, un parametro de una portadora de alta frecuencia se varía proporcionalmente a la señal mensaje de manera que exista una correspondencia entre el parametro y la señal mensaje. Una portadora de tipo senoidal se puede representar matematicamente como una portadora modulada mediante la expresión $X_c(t) = A(t)\cos[\omega_c t + \theta(t)]$ en donde $A(t)$ es la amplitud de la señal, $\omega_c t$ es la frecuencia de la portadora, y $\theta(t)$ la fase que lleva la onda.



Dado que una senoide esta totalmente definida por su amplitud y su argumento, se tiene que una vez que se especifica su frecuencia únicamente dos paramentros son susceptibles de ser variados; la amplitud instantanea $A(t)$, y la variación instantanea de fase $\theta(t)$. Cuando la amplitud instantanea $A(t)$ esta linealmente relacionada con la señal modulante, el resultado sera una modulación lineal. Si permitimos que $\theta(t)$ ó su derivada en el tiempo $\dot{\theta}(t)$ se relacionen linealmente con la señal modulante, tendremos como resultado una modulación en fase

o en frecuencia respectivamente. Si la modulación obtenida es en fase o en frecuencia se dice entonces que se tiene una modulación de tipo angular.

En el caso de una modulación lineal, se tiene que para una portadora linealmente modulada, la variación de fase $\theta(t)$ se hace igual a cero por lo que este tipo de señal queda definida por la relación; $X_c(t) = A(t)\cos W_c t$ en donde $A(t)$ es la amplitud instantánea de la señal, W_c la frecuencia de la señal y $X_c(t)$ la señal modulada.



+ la amplitud puede variar.

+ la frecuencia puede variar.

+ la fase permanece constante.

En el caso de la modulación angular, se tiene que para una portadora linealmente modulada se mantiene constante la amplitud $A(t)$ de la señal y lo que se varía linealmente con la señal mensaje es ya sea la fase ó la derivada en tiempo de la fase de la señal portadora quedando definida por:

$$X_c(t) = A_c \cos[W_c t + \theta]$$

La fase instantánea de $X_c(t)$ se define como:

$$\theta_i(t) = W_c t + \theta$$

y la frecuencia instantánea quedara como:

$$W_i(t) = \frac{d\theta_i}{dt} = W_c + \frac{d\theta}{dt}$$

La función $\theta(t)$ y la función $d\theta/dt$ se conocen respectivamente como 'desviación de fase' y 'desviación en frecuencia' y darán lugar a la modulación en fase y a la modulación en frecuencia de una señal. A continuación mencionaremos algunos de estos métodos destacando su principal modo de operación eligiendo entre ellos el que para este proyecto ha de ser de mayor interés.

5.4 Modulación en Amplitud.-

Este tipo de técnica de modulación pertenece al grupo de técnicas de modulación lineal y es ampliamente utilizado cuando se trata de transmitir a través del aire muchas señales que tienen una misma frecuencia base.

Este método se basa en la combinación de dos ondas de las cuales, una es la señal que contiene la información conocida como 'mensaje' o portadora y la otra es la encargada de modular la amplitud de esa portadora y se le conoce como moduladora. Generalmente, la señal portadora es una señal aleatoria, suele suceder que en algunos casos tenga una forma senoidal y en otros sea periódica, pero el análisis general se hace para cuando ocurre el peor caso en el que no se cumplen ninguna de estas condiciones y se tiene que lidiar con una forma de onda aleatoria.

Originalmente la forma de la señal de modulación

lineal es: $X_c(t) = A(t) \cos \omega_c t$, pero como el parámetro $A(t)$ es linealmente proporcional al mensaje, se tiene que $A(t) = A_c m(t)$ con lo que la relación para la moduladora: $X_c(t) = A_c m(t) \cos \omega_c t$.

La modulación en amplitud [AM] --por sus siglas en inglés-- se presenta cuando antes del proceso de modulación se añade a la señal mensaje $m(t)$ una polarización de corriente directa A . Nuestra señal queda definida por la ecuación:

$$X_c(t)_{AM} = [A + m(t)] A_c \cos \omega_c t$$

si normalizamos esta ecuación tendremos:

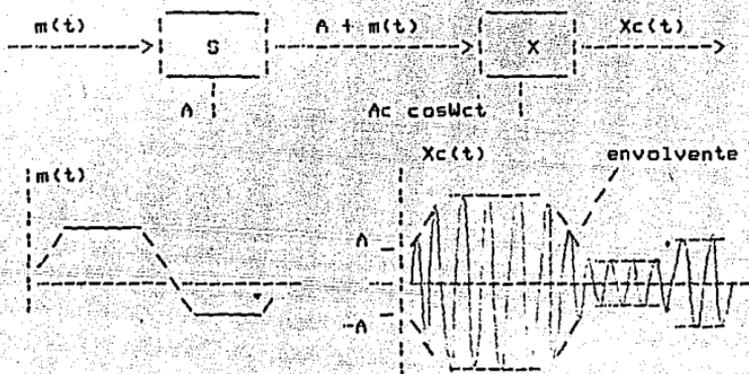
$$X_c(t)_{AM} = A_c' [1 + a m_n(t)] \cos \omega_c t$$

donde $m_n(t)$ es igual a $m(t)$ normalizada, de tal manera que el máximo valor de $m_n(t)$ es la unidad. El parámetro A_c' es igual a $A A_c$ y finalmente el parámetro 'a' será:

$$a = \frac{\max m(t)}{A} \quad \text{factor o índice de modulación}$$

Esto es importante porque en este tipo de transmisión se desea emplear una técnica para realizar la demodulación --proceso inverso a la modulación-- conocida como: Detección de envolvente, que se basa en suponer que la envolvente resultante de la modulación se aproxima enormemente a la señal mensaje $m(t)$ y basta con llevar a cabo la correcta detección de esta envolvente para recuperar la información. Esta alternativa solo funcionará

si en la ecuación anterior el indice de modulación permanece inferior a la unidad. Esta condición es deseada y por eso debemos contemplarla. En el siguiente diagrama podemos ver como quedan resumidas éstas ideas:



Como hemos podido ver, se están manejando dos señales cada una con su frecuencia y definitivamente existe una relación entre ellas; se ha podido establecer que la frecuencia en la portadora sea cuando menos diez veces mayor que la más alta frecuencia moduladora. A su vez, el valor de A debe ser lo suficientemente grande para que el valor mínimo del mensaje nunca pase a la parte negativa del eje de referencia y así poder identificar exactamente el valor de la envolvente en todo su rango.

En este tipo de modulación, la frecuencia de la portadora se convierte en el nuevo valor de frecuencia a

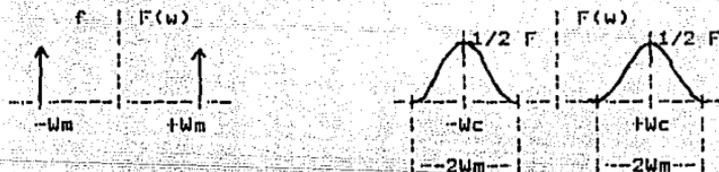
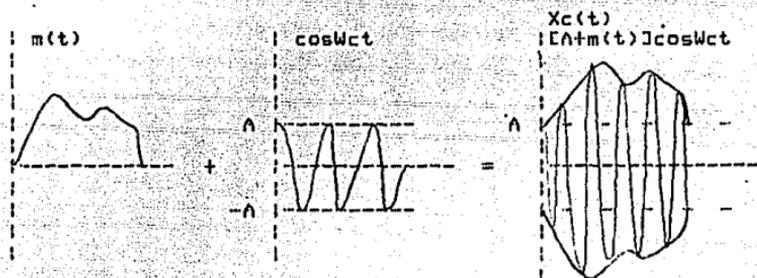
donde se desea trasladar la frecuencia base original dentro del espectro y, al hacerlo, el fenómeno que se tiene es la aparición de dos componentes espectrales simétricas a la portadora que poseen un ancho de banda del doble del original:

$$X_c(t) = [A + m(t)] \cos \omega_c t$$

$$X_c(t) = A \cos \omega_c t + m(t) \cos \omega_c t$$

$$X_c(t) \Delta M = 1/2 A [d(\omega + \omega_c) + d(\omega - \omega_c)] + 1/2 [f(\omega + \omega_c) + f(\omega - \omega_c)]$$

gráficamente lo podemos ver así:



En las señales de AM, la información no está contenida en la portadora de modo que la potencia transmitida en dicha señal representa un desperdicio, siendo las bandas laterales las que realmente contienen la información:

$$X_c(t) = A \cos \omega_c t + m(t) \cos \omega_c t$$

portadora bandas laterales

aplicando el máximo índice de modulación posible ($\alpha=1$) para una señal senoidal obtendríamos que la eficiencia de la transmisión es del 33% y que el 67% de la potencia queda alojada en la portadora, y como tal, representa un desperdicio. Sin embargo, existe una variación de la amplitud modulada en la cual la portadora se suprime para la transmisión y luego se regenera de nuevo en la recepción, con lo cual en cuanto a eficiencia de transmisión se refiere, esta aumenta al 100%. Se conoce como modulación en amplitud con portadora suprimida. (ver Ap. B)

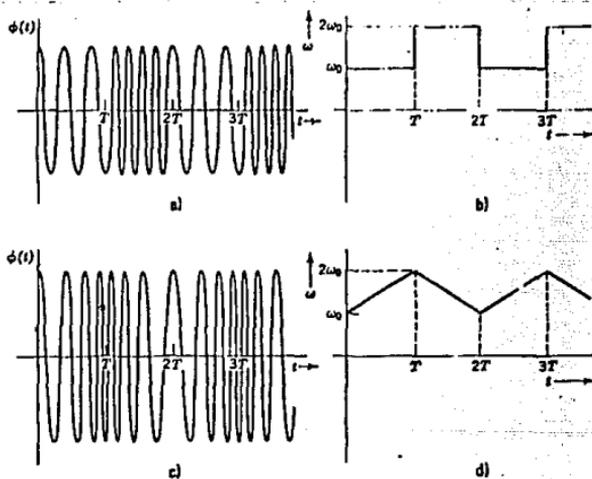
Al llegar la señal al extremo receptor del canal, debe someterse a un proceso inverso al de la modulación en donde debiera quedar como originalmente se tenía en la frecuencia base proveniente de la fuente emisora. Para detectar una señal de AM se pueden utilizar circuitos electrónicos ya sea de tipo detector-rectificador o detector de envolvente, son equivalentes pero funcionan bajo principios de operación totalmente diferentes.

5.5 Modulación en frecuencia.-

Este tipo de modulación corresponde al tipo de modulación angular y está íntimamente relacionada con la modulación en fase. Como se mencionó anteriormente, una

señal queda definida bajo tres parámetros que la caracterizan: su amplitud, su frecuencia y su fase. En el caso de la modulación en frecuencia [FM] -por sus siglas en inglés-, tanto la amplitud de la señal como su fase permanecieron constantes siendo la frecuencia el parámetro que nos interesara variar.

Para entender la idea de lo que es la variación en frecuencia, conviene definir un concepto que nos será de utilidad y que entenderemos como la 'frecuencia instantánea'. Sea la siguiente figura:



En la figura a, se muestra una señal senoidal $\phi(t)$ con frecuencia ω_0 constante para $t < T$, de $2\omega_0$ para $T < t < 2T$. Los cambios de frecuencia son bruscos y pueden ser representados mediante escalones como en la figura b.

Ahora bien, si en lugar de presentar variaciones bruscas de frecuencia la onda llevara a cabo el cambio lentamente como se muestra en la figura e, los brincos quedarían eliminados convirtiéndose en una variación continua uniforme como se aprecia en la figura d.

En este último caso, la señal $f(t)$ no puede ser representada mediante una expresión senoidal ordinaria por tratarse de una variación continua de frecuencia, por eso definimos una función senoidal generada $f(t) = A \cos \theta(t)$ en donde θ es el ángulo de la señal en función del tiempo. Para una función ordinaria de frecuencia fija:

$$f(t) = A \cos(\omega_c t + \theta_0)$$

$$\text{entonces; } \theta(t) = \omega_c t + \theta_0 \quad \text{y} \quad \omega_c = \frac{d\theta}{dt}$$

La frecuencia angular ω_c está dada por la derivada del ángulo $\theta(t)$ y no tiene por qué ser constante. Definamos entonces a la relación $d\theta/dt$ como una frecuencia instantánea ω_i que varía con el tiempo. En esta forma, establecemos una relación entre $\theta(t)$ y ω_i que es: $\omega_i = d\theta/dt$. Si el ángulo $\theta(t)$ varía linealmente con $f(t)$, entonces:

$$\theta(t) = \omega_c t + \theta_0 + K_p F(t)$$

en donde K_p es una constante y la forma obtenida describe el comportamiento de una modulación en fase, cuyo ejemplo sería una señal de la forma: $A \cos[\omega_c t + \theta + K_p F(t)]$.

Observese que la frecuencia instantánea ω_i de tal señal

está dada por:

$$W_i = \frac{d\theta}{dt} = W_c + K_f \frac{dF}{dt}$$

En este tipo de modulación, la frecuencia instantánea varía linealmente con la derivada de la señal modulante. Ahora bien, si dicha frecuencia instantánea varía directamente en función de la señal modulante, se tiene lo que conocemos como una señal de frecuencia modulada. De esta manera, para una portadora modulada en frecuencia, W_i está dada por: $W_i = W_c + K_f F(t)$.

De lo anterior podemos ver que la modulación en fase (PM) el ángulo varía linealmente con la señal modulante, mientras que en la frecuencia modulada (FM) varía linealmente con la integral de la señal modulante. Se deduce que cualquier variación en la fase afecta la frecuencia y viceversa, por eso es que se decía que están íntimamente relacionadas.

* FM de banda angosta.*

En la expresión general de la portadora de FM W_i vale:

$$W_i = \frac{d\theta}{dt} = W_c + K_f \frac{dF}{dt} = W_c + K_f F(t)$$

la cual, obviamente, es proporcional a la señal mensaje $F(t)$. El término $K_f F(t)$ representa la desviación en la

frecuencia de la portadora de su valor original inicial estatico ω_c ; K_f controla dicha desviación. Se ve que para valores pequeños de K_f la desviación de frecuencia es reducida y el espectro de la función de FM tendrá un ancho de banda angosto, el caso opuesto se tendrá si K_f aumenta.

Mediante un desarrollo matemático, podríamos llegar a que una translación en el espectro de una señal modulada en FM tiene una ecuación de la forma:

$$X_c(\omega)_{FM} = T \wedge [d(\omega - \omega_c) + d(\omega + \omega_c)] + jAK_f/2 [G(\omega - \omega_c) - G(\omega + \omega_c)]$$

(ver Ap. C) en donde observamos que aparecen dos componentes laterales situadas en la frecuencia de la portadora ω_c simétricas al origen, vemos que hay una diferencia de fase de $1/2$ con respecto a la portadora y se ocupa un ancho de banda en cada espectro del doble de la original.

* FM de banda ancha.-

En el caso en que las desviaciones de frecuencia de la portadora son grandes, o sea K_f es grande, el análisis de FM se complica ya que no es posible generar un expresión precisa para el ancho de banda debido a que FM es una modulación no lineal. Sin embargo, una aproximación bastante acertada para calcular el ancho de banda se obtiene al evaluar la expresión de ancho de banda siguiente: $BW(FM) = 2[K_f |f(t)|_{max} + 2\omega_m]$ en donde ω_m es el ancho de banda de $f(t)$. Como $\omega_i = \omega_c + K_f f(t)$, vemos que

$K_f |f(t)|_{\max}$ representa la máxima desviación de frecuencia -denotada por Dw - de la frecuencia de la portadora. La expresión queda como: $BW=2[Dw+2Wm]$ en rps.

Esto es posible utilizando muestras de la señal a pequeños intervalos observando la condición de Nyquist y fijando un periodo de muestreo de $1/2 F_m$ seg. Siendo ésta la aproximación, la portadora de FM constará de pulsos senoidales de frecuencia constante y duración $1/2 F_m$ seg.

El espectro de tal señal estará en la región desde $Wc-K_f F(t)-2Wm$ hasta $Wc+K_f F(t)+2Wm$ y el ancho de banda quedará definido por $BW=2K_f |f(t)|_{\max} +4Wm$. Para FM de banda ancha se aproxima que como $Dw \gg Wm$ entonces $BW=2Dw$. Se dice que es una aproximación porque en realidad el valor no es exacto ya que si sustituyéramos en el proceso matemático una señal senoidal, encontraríamos una serie infinita, con lo que llegaríamos a la conclusión de que FM contiene un número infinito de componentes y su ancho de banda tiende al infinito. Para fines prácticos se considera que las amplitudes de las componentes espectrales de alta frecuencia son despreciables y la mayor parte de la energía de la señal de FM queda contenida en un ancho de banda finito que se aproxima a su vez al valor de ancho de banda obtenido en el inciso anterior.

* Las funciones de Bessel.

Si seguimos cuidadosamente el desarrollo matemático del proceso para la obtención de las componentes espectrales de una señal modulada en frecuencia, habrá un momento en el que llegaremos a una expresión integral. El segundo miembro de esa integral no puede ser evaluada en forma cerrada y debe desarrollarse el integrando en una serie infinita. Esta integral es siempre constante y se encuentra tabulada y se denota como ' $J_n(mf)$ ' conocida como la función de Bessel.

Si hacemos una relación entre la máxima desviación de frecuencia Dw de la portadora y de la señal de frecuencia Wm , obtendremos lo que se conoce como el índice de modulación en frecuencia (b) quedando: $b = Dw/Wm$. Este valor es importante porque nos permite tabular la función de Bessel y obtener una tabla de mucha utilidad para calcular los valores de las componentes espectrales:

n	b=0.1	b=0.2	b=0.5	b=1	b=2	b=5 ...
0	0.977	0.970	0.930	0.765	0.224	-0.170
1	0.050	0.100	0.242	0.440	0.557	-0.328
3	0.001	0.005	0.031	0.115	0.353	0.047
4				0.020	0.129	0.365
5				0.002	0.034	0.371
6					0.007	0.261
7					0.001	0.131
8						0.053
9						0.010
10						0.006
11						0.001

podemos ver como en algunos casos la componente tiene una

magnitud negativa.

Lo que nos interesa observar a este nivel es que, por ejemplo, para un índice de modulación de $b=2$ las funciones J_5 y J_6 etc. tienen magnitudes despreciables siendo las componentes significativas aquellas alojadas en W_c , $W_c \pm W_m$, $W_c \pm 2W_m$, hasta $W_c \pm 4W_m$ y el ancho de banda de las componentes significativas será de $8W_m$. En general $J_n(b)$ es despreciable para $n > b$ y si $b \gg 1$ se cumplirá que $b=n$ para FM de banda ancha en donde el número de bandas laterales significativas se puede considerar como el entero más cercano a 'b' y por eso es que aproxima a $BW=2nW_m=2bW_m$, y si b era Dw/W_m entonces $BW=2Dw$, expresión que habíamos obtenido antes como una aproximación si $b \gg 1$. En el caso en el que $b > 1$ solamente, es más aproximado decir que $BW=2[Dw+W_m]$ expresión que también ya habíamos comentado.

Para sistemas de FM de banda angosta donde $Dw \ll W_m$, el ancho de banda es aproximadamente $2W_m$ -el mismo que en el caso de AM- y por eso, en general se acepta que el ancho de banda requerido para la transmisión de una señal de FM es aproximadamente el doble de la máxima desviación de frecuencia de la portadora.

En el caso de una transmisión de radiodifusión, la Comisión Federal de Comunicaciones ha fijado el máximo valor de desviación de frecuencia Dw en 75 KHz para

transmisiones comerciales por lo que el ancho de banda para una señal de radio es de aproximadamente 150 KHz.

En este tipo de modulación la potencia de la señal esta contenida también en las bandas laterales, pero si se admite que el numero de éstas tiende a infinito, nunca podriamos tener un valor exacto de la potencia. Sin embargo, segun vimos en la tabla de Bessel que a partir de un cierto momento las magnitudes de las componentes son despreciables por lo que la potencia contenida en ellas tiende a cero, asi, la potencia total será la alojada en la portadora más k bandas laterales significativas:

$$P_t = J_0^2(B) + 2 \sum_{n=1}^k J_n^2(B)$$

Para la generación de señales en FM, existen dos métodos muy sencillos conocidos como; el método indirecto y el método directo.

El método indirecto se basa en la facilidad de generar señales moduladas en fase y estas se utilizarán para generar indirectamente las ondas en FM. El método de Armstrong se basa en que es posible generar una señal de banda angosta y después convertirla en banda ancha según el siguiente diagrama:



El método directo se basa en que la señal modulante hace variar directamente la frecuencia portadora. En general se usan osciladores electrónicos y se hace variar en proporción a $f(t)$ uno de los elementos reactivos L o C de los circuitos sintonizados que determinan la frecuencia. Si L y C son respectivamente la inductancia y la capacitancia del circuito sintonizado del oscilador, la frecuencia instantánea de oscilación será:

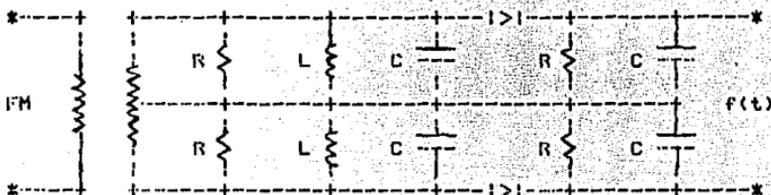
$$\omega_i = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

la señal del oscilador es la señal de FM deseada.

En el extremo receptor tendremos un circuito demodulador, esto es, realiza la operación inversa a la modulación. Deberá disponerse de un circuito cuya salida varíe linealmente con la frecuencia de la señal de entrada, por lo tanto, los detectores de FM son dispositivos sensibles a la frecuencia y se llaman discriminadores de frecuencia.

Si se implementa un circuito cuya ganancia varíe linealmente en función de la frecuencia, la señal de FM se convierte en una señal de AM que se demodula con un diodo y un sistema RC. De los circuitos que se podrían implementar hay uno que cumple bien tanto con la

sensibilidad como con la linealidad y sigue muy bien a la señal:

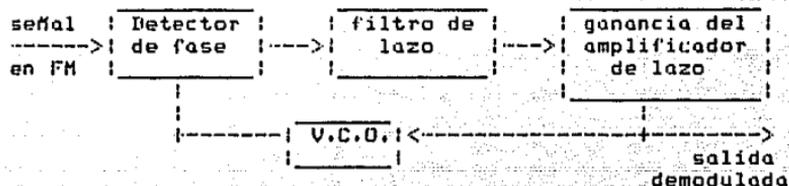


Es importante aclarar que existen múltiples formas de llevar a cabo tanto la modulación como la demodulación ya sea en AM, en FM, o en cualquier otra, lo importante es entender el concepto, ya que todas se basan en el mismo principio. Debemos entender que es lo que está pasando durante la transmisión de una señal modulada y que le pasa a la señal al trasladarla en el espectro de frecuencia.

En este proyecto, lo que utilizaremos para lograr nuestro propósito será la transmisión de una onda sonora modulada en frecuencia, el tipo de circuitos empleados para su generación y detección son sencillos y nos conviene aprovechar aquí la enorme ventaja que tenemos de que nuestra onda es una señal constante y periódica, algo que simplifica enormemente la demodulación en la transmisión.

5.6 El PLL.-

El PLL se trata de un circuito demodulador que pertenece al grupo de los demoduladores retroalimentados. PLL significa 'Phase Locked Loop', de donde tomo sus siglas también en español. El circuito contiene generalmente cuatro elementos básicos dispuestos según el siguiente esquema:



Un VCO es un 'Voltage controlled oscillator' -oscilador controlado por voltaje-, es en esencia un modulador de frecuencia donde la desviación de frecuencia de la salida $d\theta/dt$ es proporcional a la señal de entrada. Como la salida del detector de fase viene determinada por la desviación de fase entre la entrada del PLL y la salida del VCO, se puede modelar un PLL sin tener en cuenta la frecuencia de la portadora ω_c . El modelo resultante se conoce como modelo no lineal debido a la no linealidad senoidal del detector de fase.

Cuando el PLL opera en su región de cierre -locked-, la fase del VCO $\theta(t)$ es una buena muestra de la desviación de fase de la entrada $\theta(t)$ y en ese

momento el error de fase $\theta(t) - \hat{\theta}(t)$ es pequeño. Esta condición permite deshechar la no linealidad convirtiéndose así el PLL en un sistema lineal de control de retroalimentación más fácil de analizar y comprender.

Esta es la forma que utilizaremos para demodular nuestra señal en FM ya que para un PLL operando en cierre la desviación de frecuencia de entrada es proporcional a la señal moduladora y la desviación de frecuencia del VCO es proporcional a su señal de entrada, por lo tanto, esa señal es proporcional a la desviación de la frecuencia de entrada y será entonces la salida demodulada para una entrada en FM. Una ventaja enorme es que la implementación de éste demodulador se logra utilizando un sólo circuito integrado controlado por resistencias y capacitores, elementos a los cuales tenemos acceso fácilmente.

CAPITULO VI

DISPOSITIVOS

ULTRASONICOS

La propiedad que tiene una onda sonora de ser trasladada en su espectro de frecuencia para después ser transmitida con mayor facilidad utilizando la multicanalización, es ampliamente utilizada hoy en día y de hecho conforma la base de los sistemas de comunicación actuales. Esto nos ha llevado a que la mayoría de las transmisiones sonoras se llevan a cabo en el rango no audible para el ser humano cayendo dentro de lo que llamaríamos una transmisión ultrasónica.

En el capítulo anterior de éste trabajo se habló de como lograr hacer este tipo de transmisiones utilizando diversos tipos de modulación. Ahora debemos conocer algunos de los elementos que hacen posible que esto suceda contemplando cual es su frecuencia de operación y las características de operación para efectuar tal transmisión.

La transmisión de información a través del aire en nuestro país esta controlada por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes y la labor que desempeña el departamento correspondiente es muy importante, desde ahí tienen que controlar la transmisión de todo el rango de frecuencias posible y asignar a los diferentes usuarios un rango específico del cual no deberán salirse para no interferir con otras señales. Un ejemplo que todos conocemos es el caso del radio; la banda de frecuencia

modulada está contenida entre los 80 y 108 Mhz y cada estación debe mantener un ancho de banda de 150 Khz con lo que se podrían alojar hasta 130 estaciones de radio en esa banda. Lo mismo sucede para la televisión, transmisión para aviación, en la marina, comunicación por satélite, etc. Existe también lo que se conoce como la banda de los radio aficionados y es de gran importancia ya que dentro de ésta están permitidas las transmisiones libres entre particulares mediante la banda CB, radios de corto alcance y lo que para nosotros es más importante; la emisión de ondas ultrasónicas para controlar juguetes a control remoto que recientemente han tenido un auge sorprendente tales como los avioncitos a control remoto, coches, barcos, gruas, es más; hasta pequeños robots controlados bajo éste principio.

Si en este proyecto pretendemos llevar a cabo una transmisión ultrasónica deberemos mantenernos dentro del rango permitido por la ley y ajustar todos los elementos y dispositivos empleados para la transmisión a que operen dentro de ese rango de radio aficionados para evitar el interferir con alguna señal que ya tiene asignada una cierta frecuencia de operación dentro del mismo canal. Como dato curioso podemos mencionar el rango de frecuencias de operación de algunas entidades en nuestro país coordinadas siempre por la Secretaría de Comunicaciones que agruparemos en la siguiente tabla:

535 - 1600	Khz	Radio AM
25 - 54	Khz	Banda de radio-aficionados
54 - 88	"	Televisión banda baja
88 - 208	"	Radio FM
108 - 300	"	Televisión banda media
470 - 890	"	Televisión banda alta

6.1 Características físicas y electrónicas.-

En capítulos anteriores se hizo mención de la necesidad que tenía el hombre de generar señales sonoras cuyas frecuencias estuvieran contenidas en el rango inaudible del espectro. No era posible generar ultrasonidos fácilmente con dispositivos naturales, así que la investigación llevó al hombre a perfeccionar los transductores. Habíamos visto que un transductor es aquel dispositivo capaz de convertir un tipo de energía en otra como el caso de un micrófono, cuya finalidad es transformar la energía sonora en energía eléctrica.

Lo que estamos buscando en este momento es el familiarizarnos con los dispositivos que sean capaces de generar altas frecuencias - ultrasónicas - a los cuales denominaremos como: 'osciladores', ya que de alguna manera deberán oscilar para producir el efecto buscado.

Para generar ondas de alta frecuencia, los osciladores se basan en tres principios que pueden agruparse bajo los siguientes conceptos: el efecto piezoeléctrico, el efecto electrostrictivo y el efecto magnetostrictivo.

a).- El efecto piezoeléctrico:

Fué descubierto por los hermanos Curie en 1880 y se produce en los cristales que tienen uno o más ejes polares o que carecen de centro de simetría. En la práctica éstos cristales reaccionan a una frecuencia de resonancia con las vibraciones transversales o longitudinales según se produzca la resonancia en dirección perpendicular o paralela a las caras radiales. La frecuencia natural de las vibraciones mecánicas varía inversamente con la dimension a lo largo de la cual se producen; así pues, las frecuencias más bajas se presentan para las vibraciones longitudinales, o sea en la dirección de la dimension mayor, y las altas para las transversales, que serian a lo largo de la dimension menor. Esto quiere decir que les es posible modificar su tamaño a lo largo de un eje dependiendo de la aplicación de un campo eléctrico. Un campo oscilatorio, producirá vibraciones que serán transmitidas en forma de ondas.

Aunque existen muchos cristales capaces de seguir éste comportamiento, solo algunos son los que pueden usarse para generar ondas ultrasónicas. Los requisitos que debe tener un material para poder ser usado como transductor ultrasónico son los siguientes:

- Debe ser completamente homogéneo.
- Debe poseer características piezoeléctricas satisfactorias para los modos de vibración requeridos.

- Debe ser apto para modelarse en forma y tamaño deseados.
- Debe ser estable tanto física como químicamente.
- Debe conservar sus propiedades piezoeléctricas en todo el intervalo de temperaturas en el que se va a utilizar.
- Debe poder acoplarse con el circuito eléctrico y con el medio de propagación en donde va a ser usado.

El factor "Q" de un transductor.-

El factor Q de un sistema eléctrico o mecánico, determina la respuesta en frecuencia del sistema, es decir, para un Q bajo, la banda de frecuencia manejada es ancha, mientras que para un Q alto, es muy estrecha. Un transductor posee dos factores Q; uno mecánico expresado por Q_m y otro eléctrico representado por Q. No es de nuestro interés el entrar a las fórmulas que los definen ni su desarrollo matemático, lo que si queremos saber en este nivel es que el Q_m debe ser lo más alto posible. El titanio de bario tiene un Q_m de 200 mientras que el cuarzo en el aire supera los 10,000.

b).- El efecto electrostrictivo:

Es un efecto que se produce en todos los dieléctricos y determina un comportamiento muy importante en los materiales ferroeléctricos.

La aplicación de un campo eléctrico en una dirección determinada produce una deformación mecánica,

cuya magnitud es proporcional al cuadrado de la intensidad del campo aplicado e independiente del sentido de este. En consecuencia, es posible realizar una deformación positiva tanto para valores positivos como negativos del campo excitante. Para un campo aplicado sinusoidalmente, la forma de deformación es idéntica a la de una corriente alterna rectificadora, pero no filtrada, y su frecuencia será el doble de la del campo aplicado.

Un transductor ferroeléctrico polarizado parece presentar el mismo efecto que un transductor piezoeléctrico y por esa razón generalmente se clasifican dentro de los piezoeléctricos. Como ejemplo de materiales electrostrictivos tenemos; el titanato de bario, el metanobatio de plomo y la mezcla de titanato y circonato de plomo. Como estos materiales son policristalinos, presentan una ventaja sobre los piezoeléctricos naturales que son isotropos y no tienen porque cortarse a lo largo de ejes determinados.

c).- El efecto magnetostrictivo:

La magnetostricción se produce en los materiales ferromagnéticos y ciertos materiales no metálicos denominados ferritas. El fenómeno fué descubierto por Joule en 1847 y el efecto inverso por Villari en 1868.

Cuando una varilla o barra de material ferromagnético es sometida a un campo magnético

experimenta una variación en su longitud. Recíprocamente, un esfuerzo mecánico aplicado a una varilla produce una variación en la intensidad de imanación.

El efecto magnetoestrictivo es análogo al efecto electroestrictivo, se presenta en materiales como el níquel, el hierro y el cobalto. El que haya un aumento o una disminución de longitud depende por completo de la naturaleza del material y de la intensidad del campo magnético aplicado. La variación de longitud es independiente de la dirección de éste.

Si se aplica un campo magnético alterno a lo largo de la dirección del eje de una varilla de material ferromagnético, la varilla oscila a una frecuencia del doble de la del campo magnético aplicado. En el caso del níquel por ejemplo, al aplicar el campo, en cada semiciclo hay una disminución en la longitud, o sea, se presenta una contracción negativa. La forma de la onda de deformación es la de una curva senoidal rectificadas, ya que inevitablemente se generan armónicos. Si se polariza la varilla se obtendrá una forma de onda senoidal pura, que posee la frecuencia del campo aplicado y viene acompañada de una energía efectiva muy amplificadas, como es de esperarse, la máxima oscilación posible se logrará al aplicarle a la varilla su frecuencia de resonancia.

Como los osciladores magnetoestrictivos se utilizan generalmente en aplicaciones ultrasonicas de alta

potencia, resulta de gran importancia en la elección de un transductor el que posea un factor de acoplamiento electromecánico elevado. En los últimos años se ha avanzado mucho en el desarrollo de ferritas como elementos magnetostrictivos; son cerámicas constituidas por óxidos de fórmula química MFe_2O_4 , donde M representa un ión metálico divalente, como el níquel, zinc o plomo presentando una estructura cristalina cúbica de material espinela; estos materiales se denominan frecuentemente 'ferroóxidos' y su uso cada vez se ha ido incrementando en campo del ultrasonido.

6.2.- Selección

Es importante hacer mención de los osciladores porque para nuestro proyecto seguramente utilizaremos más de uno y resulta conveniente saber a que tipo de dispositivo nos estamos enfrentando, y darnos una idea, aunque sea muy superficial, de los principios que rigen su funcionamiento.

Como hemos podido apreciar en páginas anteriores, existen muchos tipos de osciladores y todos podrían ser utilizados en un momento dado para nuestro fin. Sin embargo, no todos podemos usar y no todos debemos usar, nos conviene hacer un pequeño análisis comparativo entre ellos y elegir aquel o aquellos que más se ajusten a

nuestras necesidades y requerimientos.

Los osciladores requeridos por los circuitos de frecuencias ultrasónicas trabajan alrededor de los 50 Mhz, lo que deja fuera al grupo de los osciladores magnetostrictivos ya que aunque son empleados para obtener altas potencias, su frecuencia máxima esta alrededor de los 100 Khz. Los electromagnéticos, los electrostaticos y los mecánicos, tambien quedan fuera, todos ellos por no alcanzar frecuencias lo suficientemente altas.

Despues tenemos los osciladores cristalinicos, cuyo rango es muy amplio llegando por encima de los 10,000 Mhz, estos podrian ser un alternativa. En seguida tenemos los osciladores de UHF, esto es, aquellos que generan ultra altas frecuencias. Son los que se emplean para la generación de microondas y para la transmisión de señales ultrasónicas via satellite, su rango supera los Ghz - miles de Mhz -, también podriamos utilizar de estos.

Al entrar en la etapa de la búsqueda de lo que tenemos en el mercado comercial, nos damos cuenta que prácticamente los unicos osciladores a los que tenemos acceso tanto fisica como economicamente - sobre todo en México - son los de tipo cristalino. Existe una gran variedad de ellos y su aplicación es muy comercial, podemos encontrar osciladores de cristal de cuarzo en los relojes electrónicos, en los microprocesadores de las

computadoras, etc. Con esto queda prácticamente definido que los osciladores que utilizaremos en este proyecto serán de cristal y los valores quedarán especificados cuando se haga el diseño de los circuitos.

4.3 Las Carriers.

En multiples ocasiones hemos sentido la necesidad de poder controlar el funcionamiento de un sistema desde un punto que no esta localizado físicamente dentro o sobre el mismo sistema. El ejemplo mas palpable lo veremos en una planta industrial en donde existen multiples máquinas ya sean eléctricas, mecánicas, neumáticas, etc. que hay que vigilar constantemente. Si el operario tiene que recorrer toda la planta ya sea para encender o apagar alguna máquina o simplemente para tomar una cierta lectura, seria efectivo, pero seguramente no práctico. La eficiencia de la acción seguramente se aumentaria si todas las máquinas se pudiesen controlar desde un solo punto en donde exista un tablero de control maestro desde donde un operario pueda tomar cualquier tipo de acción de control ya sea sobre una o todas las máquinas casi de manera simultanea.

El como lograr controlar un dispositivo ya sea de naturaleza eléctrica, neumática, mecánica, solar, etc. desde un punto alejado al sistema ha sido motivo de

estudio por mucho tiempo y día con día se encuentran nuevas maneras de lograrlo. El control analógico y el digital auxiliados por la tecnología moderna y la electrónica han logrado maravillas como es el caso del control automático de una fábrica mediante el uso de las computadoras.

Los sistemas de control implementados para lograr esta tarea pueden ser de origen mecánico, eléctrico, luminoso, sonoro, etc., y en este momento nos interesara un particular tipo que es de naturaleza eléctrica conocido como 'CARRIER'. No se ha encontrado en español un término sencillo que exprese por si mismo todo el significado que entendemos como lo hace el término en inglés, ni siquiera el de 'portadora' que sería su traducción literal así que para evitar confusiones con una portadora de modulación, mantendremos el término en inglés. El concepto de lo que es una carrier lo entenderemos explicando lo siguiente:

La red de distribución de energía eléctrica, al estar realizada mediante cables conductores que enlazan a los usuarios con las centrales generadoras, proporciona un posible medio de comunicación entre diversos puntos de la red utilizando las líneas como soporte de la transmisión. Lo que queremos es poder de alguna manera aprovechar el cableado de energía eléctrica para llevar a cabo nuestra transmisión de información de un punto a otro.

Si deseamos utilizar el mismo canal como base para

transmitir varias señales tendremos el problema de que se interferirán, entonces utilizaremos la misma idea del concepto de multicanalización que utilizamos para el aire y deberemos hacer una translación en el espectro de frecuencia y así manejar varias señales simultáneamente pero con diferentes frecuencias. Así pues una onda carrier es una onda portadora de información que se transmite a través del cableado del sistema de distribución de energía eléctrica. Veremos brevemente como podríamos llevar a cabo tal tarea ya que nos puede ser muy útil en este proyecto y queremos saber como funciona.

El sistema para trabajar con una carrier consta de tres partes fundamentales: Una etapa de generación de la onda, el medio por donde se transmite, y la etapa de recepción de la señal con su utilización.

En la etapa emisora lo que queremos es generar de alguna manera una señal de alta frecuencia que podamos mandar por la línea. Un oscilador sería una buena alternativa, pero para polarizarlo necesitamos una fuente de directa, entonces si queremos usar la misma línea de distribución como fuente deberemos tener un circuito integrado por resistencias, diodos y capacitores que tienen como tarea reducir el voltaje de la línea y rectificar la señal para después filtrarla y obtener una señal de directa que pueda polarizar algún tipo de

oscilador el cual generará una señal con una frecuencia que es la que queremos transmitir. Esa señal es amplificada por un transistor y mandada a la línea. Vemos que el único problema que tenemos es el desacoplar el voltaje de la línea para polarizar el oscilador.

En la etapa intermedia no hay mucho que hacer, está formada por el cableado de la red de distribución que tal vez tenga un calibre del #12 o #14, está energizada con un voltaje de 127 V rms, y transmite una señal de 60 hz. No la podemos modificar y tampoco alterar sus parámetros, así que estos se convierten en una condición o en una restricción de nuestro sistema.

La etapa de recepción deberá ser tal que detecte nuestra señal pero que bloquee las demás; uno filtro pasa banda y después que se active el circuito que controlará el dispositivo que deseamos manejar a control remoto. Esta etapa será de alguna manera similar a la de emisión, tendrá una sección de rectificación y filtrado con resistencias y capacitores, una de estabilización integrada por zeners, una de detección de frecuencia y finalmente una etapa de potencia que controle nuestra carga.

Este sistema de detección de frecuencia está diseñado con el objeto de que el receptor no se active con cualquier ruido parásito que llegue por el cableado de la red. Cuantas veces hemos podido sentir el efecto que se

sóla fase y habria zonas que quedarían sin protección. Al analizar con cuidado el circuito veremos que una segunda restricción sera que no pueden existir transformadores de voltaje entre las líneas ya que nuestra anda no podría brincarlos; el area protegida podrá ser entonces toda la zona donde exista una red de distribución conectada bajo un mismo transformador. Quedará a criterio del diseñador en que casos convendría utilizar los carriers según el area se preste para ésta idea.

CAPITULO VII

DISEÑO Y

CONSTRUCCION

Existen momentos a lo largo del desarrollo de un proyecto en los que cruzan por la mente del diseñador diversos pensamientos acerca de las muchas etapas del mismo. Tal vez la etapa más interesante es la que podríamos llamar como la concepción. Me refiero a ese momento cuando la imaginación vuela a una velocidad sorprendente y se concibe la idea, no hay problemas, todo es realizable, el pensamiento puede convertirse en una realidad. La motivación, el gusto y el entusiasmo, alcanzan una magnitud máxima.

El llevar a cabo física y prácticamente toda esa teoría que respalda a una idea es tal vez lo más motivante para un diseñador; ver volcadas en la realidad lo que alguna vez fue sólo una idea. En éste momento estamos por entrar en ese nuevo mundo, en esa etapa en la cual veremos la conjunción de todos esos estudios teóricos que en algún momento parecerían no tener sentido y que ahora se canalizan para convertirse en algo real.

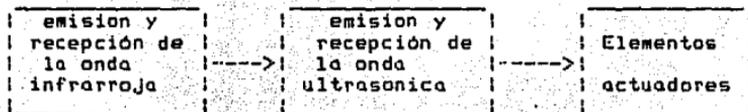
Este capítulo tiene la finalidad de proporcionarnos todos los elementos para poder realizar físicamente las ideas sostenidas por la teoría contenida en los capítulos anteriores. Dada su importancia, nos iremos con mucho detenimiento cuidando todos los parámetros involucrados para la total realización de este

proyecto. Los elementos se calcularán conforme se vayan necesitando y se tomarán como base para el cálculo de los parámetros subsecuentes.

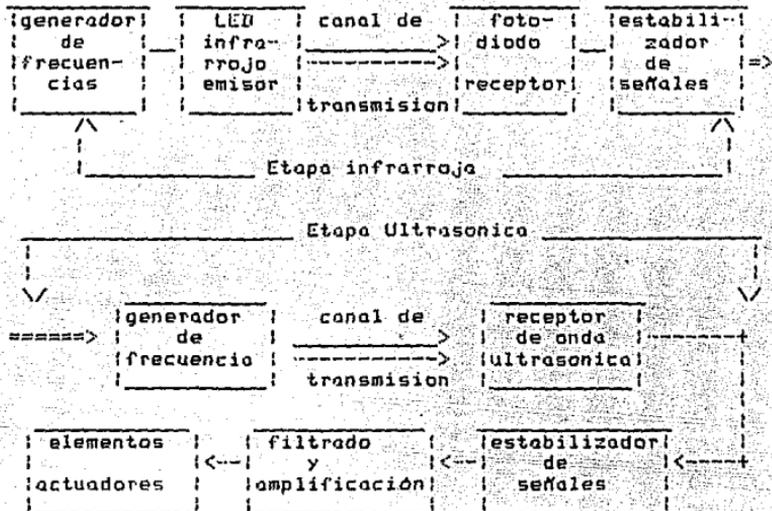
7.1 Diagrama de bloques del sistema.-

Lo primero que haremos es reubicarnos dentro del micromundo dentro del cual nos estamos moviendo y recordar que es lo que pretendemos con éste proyecto.

La finalidad de éste trabajo es proporcionarnos un sistema de seguridad que active una alarma mediante la utilización de la luz infrarroja y el ultrasonido. Debemos generar, de alguna manera, una señal luminosa por encima del espectro visible al igual que una señal sonora fuera de la frecuencia audible y trabajar con ellas para lograr el objetivo que perseguimos. El planteamiento lo haremos por medio de un diagrama de bloques en donde podremos ver las etapas involucradas, la secuencia que siguen, y formar así la base para ir analizando y diseñando cada una de ellas.



Esto se podría desglosar de la siguiente forma:



7.2 Diseño y construcción de la etapa de emisión infrarroja.-

Como podremos recordar, la etapa infrarroja forma la parte medular, ya que ahí es en donde se lleva a cabo la detección de una alteración que indica que se ha violado el espacio protegido por nuestro sistema.

Lo que se desea es mantener activo un haz luminoso que este cruzando el espacio de un lado a otro y que al interferirse active una siguiente etapa del proceso. La generación y comportamiento de ese haz es lo que contemplaremos a continuación.

Como la teoría nos lo mostró en el capítulo I, el espectro visible está acotado por un lado por el ultravioleta y por el otro lado por el infrarrojo. Nosotros queremos trabajar en la zona del infrarrojo, lo que indica que manejaremos frecuencias cuyas longitudes de onda están por debajo de los 7EE-7 mts.

a).- Características y criterio de selección para el emisor infrarrojo

Vimos que existen dispositivos a base de materiales semiconductores que al recibir un cierto voltaje son capaces de emitir tales ondas; los LEDs infrarrojos. Entonces necesitamos uno de estos. Pero cual? según vimos había muchos parecidos. La primera restricción con la que nos enfrentamos, cosa extraña, no tiene que ver con nuestro criterio de diseño; se trata del mercado nacional. Tenemos que ver que hay, con que elementos contamos y entonces, aplicar nuestro criterio de selección.

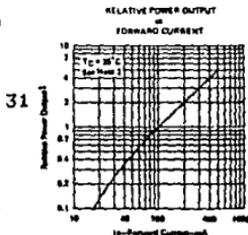
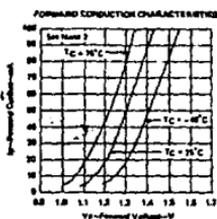
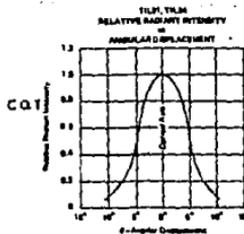
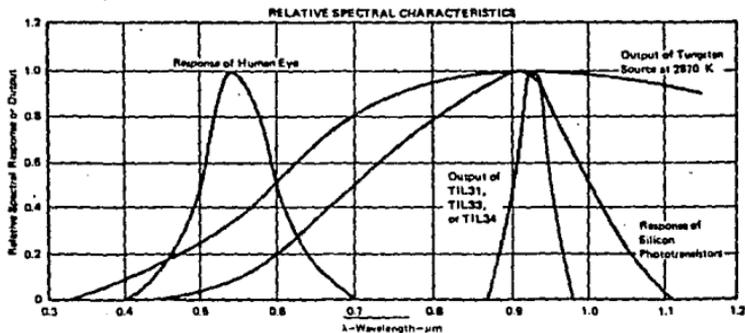
Al realizar la investigación nos encontramos con que existen LEDs infrarrojos tipo TIL 31, 32, 33, 34, etc. Al aplicar el criterio de diseño y hacer las comparaciones entre ellos; su frecuencia, su corriente, su irradianza, ángulo de emisión, etc. el que más nos conviene es el LED infrarrojo TIL 31. Este emisor, tiene ciertas características que debemos analizar para así poder

alimentarlo con las condiciones que pide para su óptimo funcionamiento. Las tablas que nos son útiles las tenemos a continuación:

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TIL31			TIL32			TIL34			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
P_0 Radiant Power Output	$I_p = 100 \text{ mA}$	3.3	6		2.5	6		1.6	3		mW
λ_p Wavelength at Peak Emission		915	940	975	915	940	975	915	940	975	nm
$\Delta\lambda$ Spectral Bandwidth		60	75		60	75		60	75		nm
θ_{HI} Half-Intensity Beam Angle		10°			10°			10°			
V_f Static Forward Voltage		1.4	1.75		1.4	1.75		1.4	1.75		V
t_r Radiant Pulse Rise Time ¹		$I_{FM} = 50 \text{ mA}$, $t_{pw} = 2 \mu\text{s}$	800			600			600		ns
t_f Radiant Pulse Fall Time ²	$f = 46 \text{ kHz}$	350			350			350		ns	

absolute maximum ratings

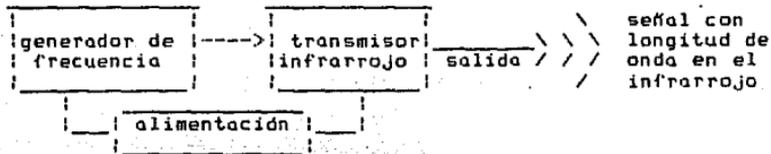
Reverse Voltage at 25°C Case Temperature	2 V
Continuous Forward Current at 25°C Case Temperature (See Note 1)	200 mA
Operating Case Temperature Range	-55°C to 160°C
Storage Temperature Range	-65°C to 180°C
Lead Temperature 1.6 mm (1/16 inch) from Case for 10 Seconds	240°C



Los puntos que nos van a interesar son: la longitud de onda, el voltaje de operación, la corriente de

mantenimiento, la frecuencia de mantenimiento y saber en que lugar del espectro nos estamos moviendo.

Podemos ver que el LED no produce su propia frecuencia de transmisión, hay que aplicarsela externamente y con esa emitirá el haz luminoso. El voltaje de polarización y la corriente de funcionamiento siguen el comportamiento de un LED normal. El diagrama de bloques de la etapa quedaria de la siguiente manera:

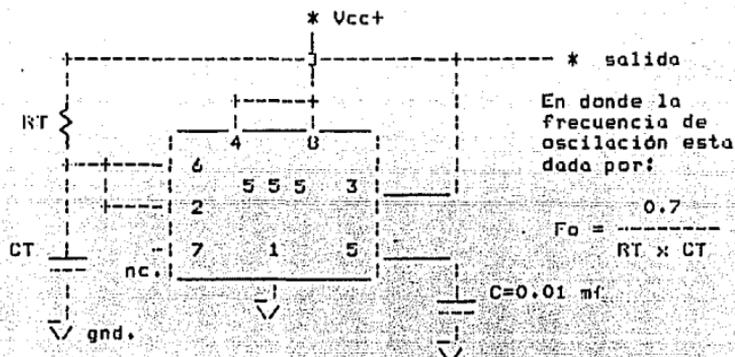


b).- Características y diseño del oscilador

El LED infrarrojo para funcionar necesita que le alimentemos con una frecuencia externa de 45,000 hz. Como se mencionó en capítulos anteriores, para generar esta frecuencia podemos utilizar diversos dispositivos tales como los osciladores, cristales, operacionales, etc. y podríamos obtener ondas de tipo senoidal, triangular, cuadrada, etc. Debemos aplicar el criterio de selección para saber cual nos conviene.

Al analizar los distintos tipos que hay, como se interconectan, su polarización, su corriente, etc. nos damos cuenta que para nuestras necesidades lo que mejor se

adapta es un circuito integrado timer 555. Este dispositivo tiene la particularidad de poder ser configurado de multiples formas y una de ellas se ajusta a lo que necesitamos. Al analizar las características del 555, la configuracion que queremos es la siguiente:



Si la frecuencia que queremos es $F_o=45,000 \text{ hz}$ significa que:

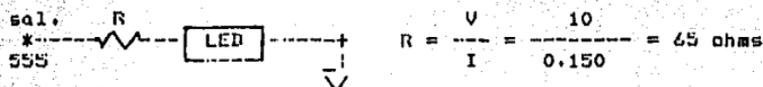
$$RT \times CT = \frac{0.7}{F_o} = \frac{0.7}{45,000} = 15.5 \text{ EE } 6$$

y las combinaciones de RT-CT que cumplen con este valor son multiples, pero ajustandonos a valores comerciales:

CT [mF]	RT [ohms]	CT x RT	F [Hz]
0.0047	1,000	4.7 EE -8	148,000
0.0047	2,200	10.3 EE -6	67,961
0.0047	3,300	15.5 EE -6	45,160
0.0047	3,900	18.3 EE -6	38,200
0.001	10,000	.00001	70,000
0.001	13,000	.000013	53,846
0.001	15,000	15 EE -6	46,666
0.001	17,000	17 EE -6	41,176
0.001	18,000	18 EE -6	38,888

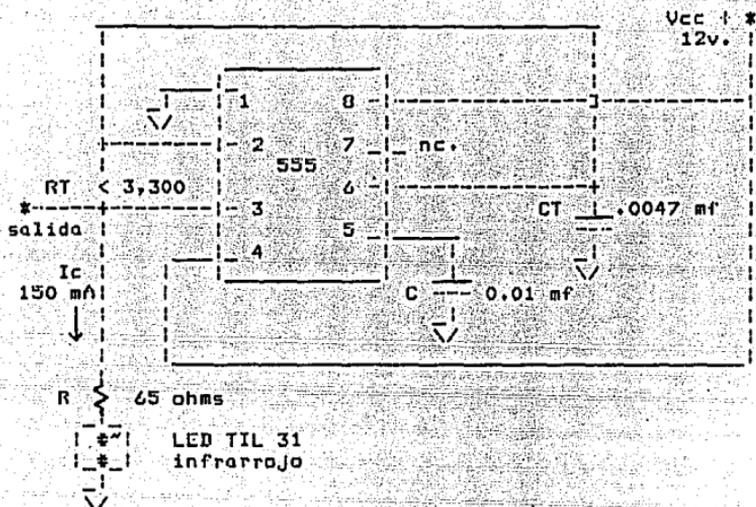
La combinación $CT=0.0047$ micros y $RT=3,300$ ohms es la que queremos y no importa si la frecuencia obtenida es un poco mayor o menor. Ahora bien, el LED permite una corriente de operación máxima de 200 mA, si ajustamos una de 150 mA estaremos asegurando las condiciones a una alta eficiencia. Pregunta obligada: puede conectarse directamente el LED a la salida del 555 ? Al ver las especificaciones, podemos ver que se pueden obtener del 555 hasta 200 mA, o sea que si es posible y estaremos por debajo del límite.

El voltaje de salida del timer es aproximadamente 2 volts abajo del voltaje de polarización, con lo que si V_{cc} se fija a 12 volts, el V_o a la salida será de 10 volts. Es posible resolver el circuito por ley de Ohm de la siguiente manera:



$$R = \frac{V}{I} = \frac{10}{0.150} = 65 \text{ ohms}$$

Si quisieramos una gran precisión en la corriente podriamos meter ahí un potenciómetro pero no vale la pena, la corriente también puede tener una variación siempre y cuando no sobrepase los 200 mA. El circuito quedaria de la siguiente forma:



y con esto queda diseñada la etapa de emisión infrarroja.

7.3 Diseño y construcción de la etapa de recepción infrarroja.-

Esta es la segunda parte de la primera etapa, y constituirá la conclusión de la primera parte. Lo que nos interesa en este momento es el poder, de alguna manera, captar la señal emitida por el LED infrarrojo y así poder trabajar con ella.

a).- Características y criterio de selección del receptor infrarrojo.

Como ya vimos en algún capítulo anterior, existen dispositivos diseñados para recibir ondas de luz cuyas

longitudes de onda estan en el infrarrojo; los fotodiodos.

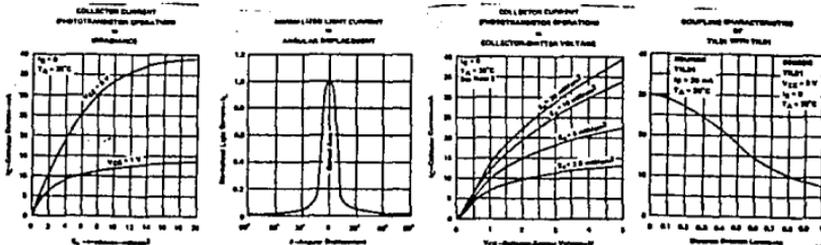
En este caso, tenemos que buscar en el mercado; cuales hay, de que tipo son, etc. y entre esos, utilizar los criterios de selección como ya vimos y buscar uno que sea compatible con nuestro LED emisor. Al explorar el mercado nos encontramos con varias posibilidades; TIL 70, 81, ... etc. y al ir analizando las características de cada uno de ellos, vemos que el que tiene mayor compatibilidad es el TIL 81.

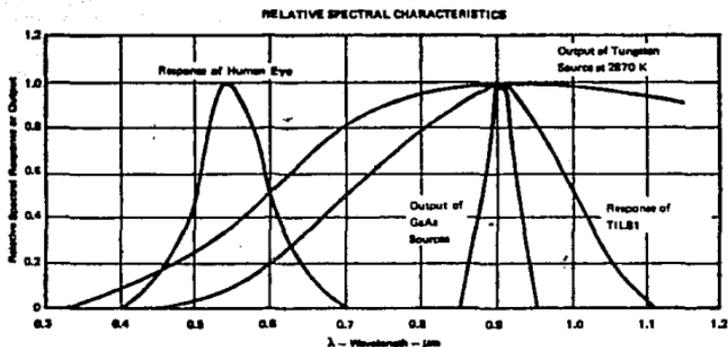
Las características de este fototransistor las podemos ver en las tablas siguientes:

electrical characteristics at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V _{BR(CBO)}	Collector-Base Breakdown Voltage	I _C = 100 μ A, I _B = 0, E _B = 0	30			V
V _{BR(CEO)}	Collector-Emitter Breakdown Voltage	I _C = 100 μ A, I _B = 0, E _B = 0	30			V
V _{BR(EO)}	Emitter-Base Breakdown Voltage	I _E = 100 μ A, I _C = 0, E _B = 0	7			V
V _{BR(ECO)}	Emitter-Collector Breakdown Voltage	I _E = 100 μ A, I _B = 0, E _B = 0	7			V
I _D	Dark Current	Phototransistor Operation	V _{CE} = 10 V, I _B = 0, E _B = 0		0.1	μ A
		Photodiode Operation	V _{CB} = 10 V, I _E = 0, E _B = 0 T _A = 100°C		0.01	μ A
I _L	Light Current	Phototransistor Operation	V _{CE} = 5 V, I _B = 0, E _B = 5 mW/cm ² See Note 2	8	22	mA
		Photodiode Operation	V _{CB} = 0 to 50 V, I _E = 0, E _B = 20 mW/cm ² See Note 2		170	μ A
β_{FE}	Static Forward Current Transfer Ratio	V _{CE} = 5 V, I _C = 1 mA, E _B = 0		200		
V _{CE(sat)}	Collector-Emitter Saturation Voltage	I _C = 2 mA, I _B = 0, E _B = 20 mW/cm ² See Note 2		0.2		V

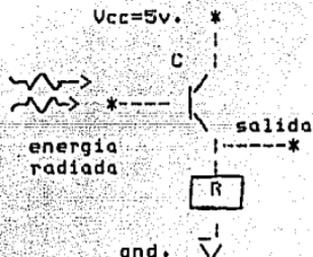
NOTE 2: Irradiance (E_B) is the radiant power per unit area incident upon a surface. For these measurements the source is an unfiltered tungsten filament lamp operating at a color temperature of 2870 K.



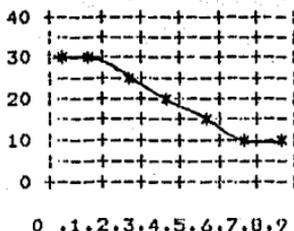


Este fototransistor puede ser programado de dos formas; como fotodiodo y como fototransistor, nosotros lo queremos como fototransistor ya que así tiene una mayor ganancia de corriente y eso nos conviene. La configuración de este dispositivo no requiere de un cálculo exhaustivo; para lograr su polarización, los parámetros nos los da el fabricante, nos sugiere una polarización de 5 volts y un limitador de corriente de 100 ohms. La configuración quedaría así:

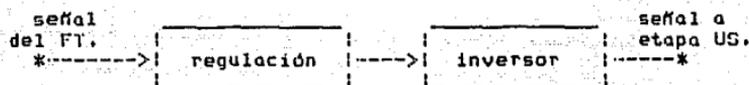
Se nos pide que la corriente del colector no exceda los 50 mA, eso lo controlamos con la resistencia y la fuente de alimentación. Los límites los obtenemos al hacer el análisis de corriente oscura, que puede llegar a 10 mA, si la h_{fe} es de 200, esa corriente sería de 2 mA, que es altísima, al



mayor será la transferencia de energía, y entre más separados, menor será esta. La energía de irradiación se traduce en una corriente del colector que es lo nos interesa.



Para manejar la señal que sale del fototransistor se propone la siguiente configuración :



La razón de plantear así el circuito es muy sencilla; la configuración tradicional de un sistema acoplado ópticamente, es para poder transmitir información mediante la luz, esto es; cuando hay luz, hay transmisión de información; no hay luz, no hay transmisión. En nuestro muy particular caso, el fenómeno buscado es totalmete el contrario; queremos que mientras el haz de luz este activo o 'circulando', no se mande ninguna señal, es cuando el haz de luz se interrumpe que queremos que se active la siguiente etapa.

El circuito quedará implementado con un inversor de tal forma que a su salida tengamos una señal con características tales que sea capaz de activar la siguiente etapa del sistema.

La salida del fototransistor, como ya pudimos estudiar, es una señal variable que depende de diversos factores y podría resultar difícil manejar una señal así para activar un circuito, por eso es que se propone anteponer una etapa de regulación para asegurar que a la salida se tenga una señal estable y confiable.

Para definir las características de regulación primero debemos tener las características del inversor, para después ajustar el regulador a esos valores de operación.

Analizando los distintos tipos de inversores, buscaremos uno que tenga parámetros lo más compatibles posible con el fototransistor con el objetivo de simplificar la circuitería de interconexión entre ellos. Haciendo comparaciones entre varios de ellos, llegamos al tipo DM54/74LS04 cuyas características las podemos ver a continuación:

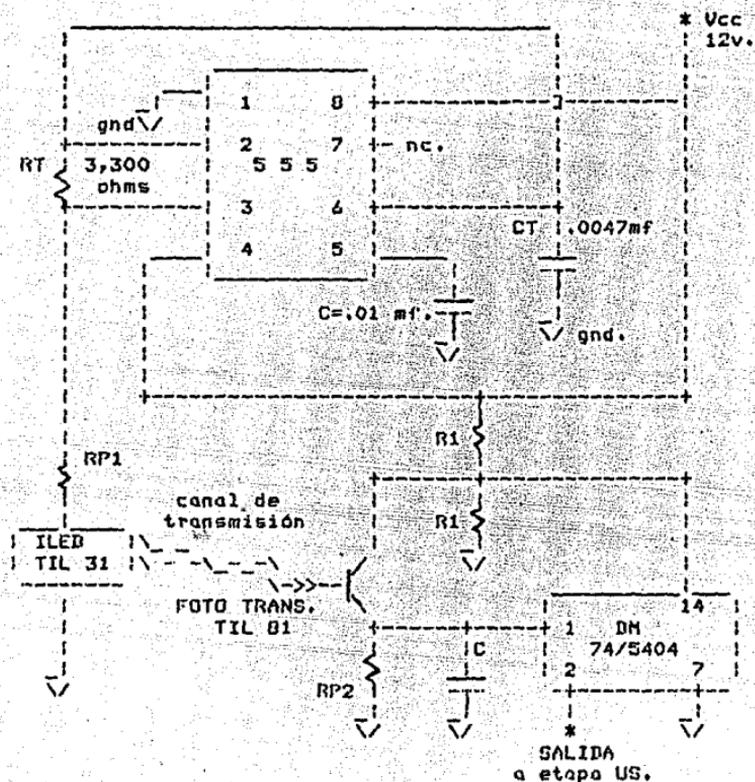
Electrical Characteristics over recommended operating free air temperature (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 1)	Max	Units
V _I	Input Clamp Voltage	V _{CC} = Min, I _I = -12 mA			-1.5	V
V _{OH}	High Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OH} = Max V _{IL} = Max	2.4	3.4		V
V _{OL}	Low Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OL} = Max V _{IH} = Min		0.2	0.4	V
I _I	Input Current @ Max Input Voltage	V _{CC} = Max, V _I = 5.5V			1	mA
I _{IH}	High Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 2.4V			40	μA
I _{IL}	Low Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 0.4V			-16	mA
I _{OS}	Short Circuit Output Current	V _{CC} = Max (Note 2)	DM54 -20		-52	mA
I _{CCH}	Supply Current With Outputs High	V _{CC} = Max	DM74 -1E	6	12	mA
I _{COL}	Supply Current With Outputs Low	V _{CC} = Max		1E	33	mA

Con esto podemos ver que el rango de operación del inversor a la entrada, es compatible con los valores a la salida del fototransistor, y mientras se mantengan esas condiciones, el circuito quedara operando. Esta conclusión es muy importante porque nos lleva a eliminar la etapa de regulación, esto es, el inversor puede funcionar con un rango de valores a la entrada que salen directamente del fototransistor, así que el circuito de regulación en nuestro caso no será necesario.

Si la distancia entre el emisor y el receptor es demasiada, correremos el riesgo de tener una señal demasiado debil a la salida del fototransistor, el inversor podría tomarla como inexistente y disparar su salida. Para evitar esto, tenemos dos alternativas; una es poner una etapa de amplificación a la salida del receptor y la otra, escoger un conjunto emisor-receptor más potentes. Yo me inclinaria por la segunda alternativa ya que el TIL 100 cumple con este requerimiento y el circuito no sufriria ningun cambio.

Con esto se ha cumplido el objetivo; al final de esta etapa tendremos entonces una señal cada vez que el haz de luz infrarrojo sea interrumpido, con lo que queda diseñada la primera etapa de este proyecto y cuyo diagrama final queda de la siguiente forma:



7.4 Diseño y construcción del sistema de alimentación.-

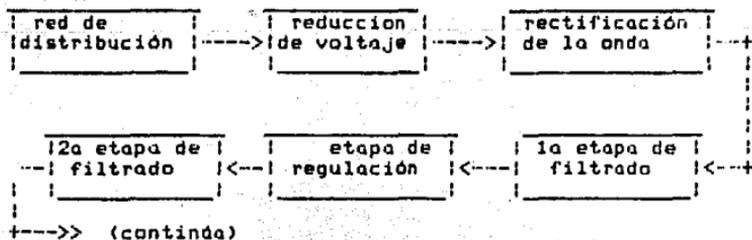
Una parte muy importante de cualquier sistema electrónico es su etapa de alimentación. Este sistema de seguridad utiliza para su funcionamiento su propia fuente, diseñada y calculada para lograr la correcta polarización

de los componentes usados y lograr un suministro de corriente adecuada a los mismos.

La fuente de alimentación de nuestro sistema está integrada por una doble alimentación; la primera está formada por la red de distribución eléctrica y la segunda por un banco de baterías. La idea de tener ésta doble fuente es aumentar la eficiencia y confiabilidad del sistema, ya que de esta forma, si se corta la energía de distribución el banco de baterías mantendrá activo el sistema. Las dos alimentaciones deberán quedar conectadas de forma tal que trabajen una como respaldo de la otra y además, que bajo el régimen de operación normal la red de distribución eléctrica debe mantener cargado al banco de baterías.

a) Características y diseño del sistema de alimentación

Un diagrama de bloques ayudará a entender que es lo que se pretende lograr de la fuente:





En el primer paso, queremos un transformador que nos entregue un voltaje cercano al que necesitamos - en realidad el que necesitamos es el voltaje del banco de baterías que trabaja con 12.6 volts-. La salida del transformador está conectada a un puente de rectificación que nos eliminará la señal negativa pasando después por un capacitor que tiene la finalidad de aproximar la onda a una señal continua, pero con un pequeño rizo no deseado. Este rizo lo eliminaremos con un regulador que estabilizará la señal al mínimo valor del voltaje de rizo que tenemos dejando el nivel alrededor de los 13.5 volts.

Esto se logra mediante la utilización de un diodo zener, y como éste no es un dispositivo que maneje altas corrientes, no nos conviene conectarlo directamente y para protegerlo, pondremos un transistor en configuración base común logrando así que la corriente que demande el sistema fluya a través del transistor y no por el zener. Debemos recordar que en esta configuración, el voltaje en el emisor es el voltaje de la base menos la caída de voltaje en la unión BE que es de 0.7 volts, y por eso deseamos utilizar esta configuración; el voltaje en el zener es prácticamente el voltaje que nos interesa. La resistencia

nos servirá para mantener el zener encendido y así poder llevar a cabo la regulación.

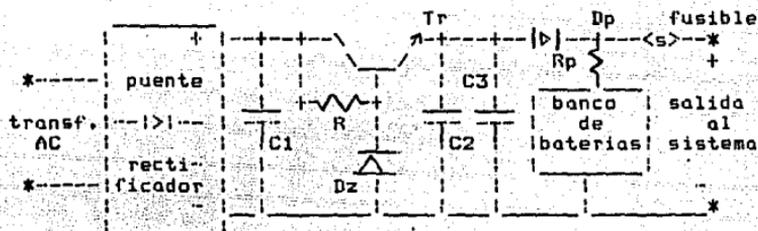
A continuación tenemos unos capacitores que se encargarán de filtrar las altas o bajas frecuencias que se hayan podido generar en la regulación. A la salida de esta etapa, tenemos un diodo cuya función es la de evitar tener un flujo de energía del banco de baterías hacia la fuente primaria de la red de distribución en caso de que la energía de ésta desaparezca.

Cuando el suministro de energía eléctrica tenga una falla, el banco de baterías comenzará a ceder su carga perdiendo su energía. Al reestablecer la red eléctrica, la batería demandará una gran corriente para recargarse nuevamente, podría llegar a ser tanta que podría quemar el transistor y el puente de diodos. Para evitar ese transitorio de corriente, incluimos una resistencia protectora que dosifique la corriente de entrada al banco de baterías.

En el punto en donde se unen la fuente principal y la auxiliar el voltaje debe ser el mismo y de igual naturaleza, o sea que pueden interconectarse directamente. La batería, por diseño natural de la misma, tiende a descargarse y perder su energía, pero como esta conectada permanentemente a la fuente primaria, todo el tiempo esta recibiendo carga, manteniendo su nivel de voltaje original. En el caso en que la fuente primaria falle, la

bateria cederá su energía y sólo lo hará hacia nuestro sistema, ya que por el otro lado se encuentra el diodo direccional que evita que el banco de baterías alimente a la red de distribución. Al ceder su carga, la batería irá perdiendo poder hasta que se reestablezca la fuente primaria recuperando totalmente su energía.

La fuente quedará integrada de la siguiente manera:



- Selección de los parámetros:

El transformador será un transformador comercial que nos baje el voltaje a un valor cercano al que necesitamos. Tenemos que tomar en cuenta que el voltaje del transformador está dado en RMS el cual, al ser rectificado nos entregará un valor basado en el pico, por lo que tenemos que tener cuidado en el criterio para encontrar el valor del transformador.

El transformador ideal no tiene pérdidas de energía en su núcleo, pero como tal, no existe. Esto se traduce en fines prácticos, en una caída de voltaje al recibir carga. Si deseamos un voltaje de 13 volts,

deberemos escoger un transformador con un valor de 30% por encima del nominal, esto es, 13 volts. La corriente para un sistema no muy grande sera de unos 2 A por lo que diseñaremos la fuente para ese valor. El transformador comercial más próximo es 127/19 a 2 A. y es el que seleccionaremos.

El puente rectificador es un circuito comercial del cual sólo nos interesan dos parámetros; el voltaje al que está conectado y la corriente que debe soportar durante la operación. Este valor lo tendremos cuando determinemos la carga total del sistema pero lo supondremos también a 2 amperes.

El siguiente paso es el pasar la corriente directa pulsante a continua, para lo cual emplearemos un capacitor [C1] lo más alto posible, a un voltaje mayor de la salida del transformador, nos ajustaremos al valor comercial que más nos convenga; entre 25 y 50 volts y entre 2,000 y 5,000 micros, el valor comercial que tenemos es de 2,200 mf a 25 volts.

El transistor [Tr] deberá entregar una corriente alta hacia el sistema podría llegar hasta los 2 o 3 amperes, lo que lo convierte en un transistor de potencia, un tipo TIP 31 se ajusta a nuestras necesidades. Este transistor puede polarizarse con un voltaje cercano a los 15 volts o sea que lo podemos conectar directamente, en su base tendrá el Zener y del colector tomaremos la

polarización para mantenerlo activo y a un voltaje constante para lograr la regulación, la resistencia nos evitará que el zener se quemé o se apague.

El efecto del diodo zener [Dz] es el regular el voltaje de salida del transistor, ya que si recordamos la configuración de base común, el voltaje de la base menos la caída en la unión base-emisor nos da el voltaje de salida. El criterio a seguir sería poner el zener al voltaje que queremos más la caída interna del transistor.

El par de capacitores [C2 y C3] en el emisor, funcionan como filtros eliminando altas y bajas frecuencias que se hayan podido generar por los rizados dejando la señal de directa pura y continua.

El diodo a la salida nos servirá para evitar que cuando exista una falla en el sistema primario, el banco de baterías ceda su energía a la red de distribución y únicamente energizará a nuestro sistema. Un valor comercial para este diodo es 2 A, así que se ajusta a nuestro diseño.

Cabe mencionar, que la capacidad de la fuente, está definida por el número de circuitos que tiene que alimentar, y esto depende de nosotros. Podríamos requerir de una fuente que nos suministre una corriente desde 1 hasta 8 A, o aún más, en nuestro caso la usaremos de 2 A y el número de circuitos se limitará a ese consumo.

7.5 Diseño y construcción de la etapa de emisión ultrasónica.

Esta sección representa la primera parte de la segunda etapa formada por la transmisión de la señal ultrasónica. Para lograr esto, deberemos tomar en cuenta los criterios mencionados anteriormente y seleccionar aquellos componentes que cumplan con las especificaciones que habremos de definir. El objetivo de esta etapa es entonces, el lograr la transmisión de una señal modulada en frecuencia con las partes que debemos contemplar: la generación y la recepción, analizando en este momento lo correspondiente a la generación.

a) Características de diseño para generar la señal de FM.

Para lograr la transmisión de una señal modulada en frecuencia, vimos que se necesitan generar dos señales; una portadora y una moduladora, juntarlas, y después enviarlas a través del espacio.

Existen diversidad de maneras de lograr esto, y al analizar algunas de las alternativas, nos encontramos con un circuito integrado que nos será muy útil para lograr nuestra tarea. Se trata del LM 1871 y a continuación lo analizaremos brevemente para ver de que se trata.

Este circuito tiene integrado un codificador para la señal sobre los canales de entrada, un generador de portadora fija, sumadores y multiplicadores correspondientes para la transmisión de la información. Mediante ésta alternativa se tiene la posibilidad de manejar señales tanto analógicas como digitales según las aplicaciones, en nuestro caso, utilizaremos la configuración para manejar nuestra señal de cualquiera de las dos formas, ya que como transmitiremos un pulso, en el límite se confunde entre ambos dominios.

Al analizar las características de este dispositivo nos damos cuenta que es compatible con nuestra primera etapa del proceso y sus características las podemos ver a continuación:

Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = -9\text{V}$, see Test Circuit and Waveforms

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units	
Encoder Section, Close S1, S2, S4 Open S3						
V_{14}	Supply Voltage	4.5	9	15	V	
I_{12}	Supply Current	Encoder Only	10	14	22	mA
V_2	Reference Voltage	4.1	4.8	5.1	V	
t_1	Frame Time	$t_1 = R_2 C_2 = 0.63R_{VDD}C_2$	8	9.5	10.5	ms
t_m	Mod Time	$t_m = 0.63R_{VDD}C_1$	4	0.5	0.8	ms
t_{2N}	Channel Time	$t_{2N} = 0.63R_{2N}C_1$	0.4	0.5	0.8	ms
t_5	Sync Time, T_1 Channels 1-6	Close S1, Close S2	3.5			ms
t_6	Sync Time, T_2 Channels 1-5	Open S1, Close S2	4.5			ms
t_7	Sync Time, T_3 Channels 1-4	Close S1, Open S2	5.5			ms
t_8	Sync Time, T_4 Channels 1-3	Open S1, Open S2	6.5			ms
ΔI_{12}	Supply Rejection, $I_m + I_{CH}$	ΔV_{CC} 6V to 12V		0.1		%/V
JV13	Encoder Output Swing		3.8		V_{DD}	
JV12	Mod Filter Output Swing		3.8		V_{DD}	
I_{12}	Mod Filter Source/Sink Current		0.5		± mA	
R_{INP}	Pulse Timer Input Resistance		27		MΩ	
I_{PM7}	Frame Timer Threshold Current		0.1		μA	
$I_{LEAK1-5}$	Mod Timer Leakage Current	Pin 15 to 0V	0.01		μA	
V_{SAT1-5}	Mod Timer Saturation Voltage	$I_{12} = 2\text{ mA}$, $V_A = V_{15}$	120	240	mV	
$I_{LEAK1-4}$	Channel Timer Leakage Current	Pins 1, 2, 3, 16, 17, 18 to 0V	0.08		μA	
V_{SAT1-4}	Channel Timer Saturation Voltage	$I_{CH} = 2\text{ mA}$	120	240	mV	

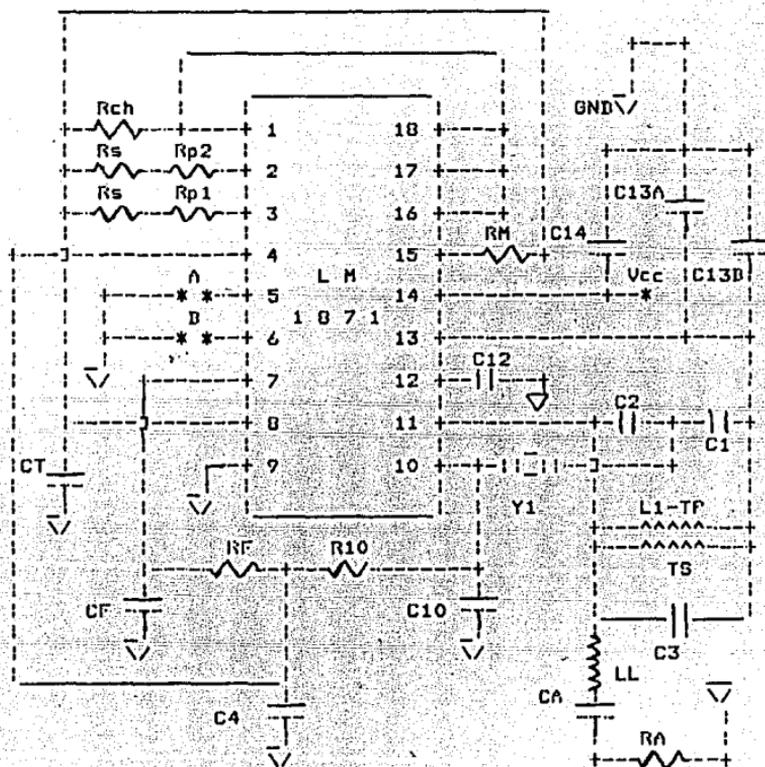
Al analizar el circuito nos damos cuenta que está en nosotros decidir, o más bien definir, algunos de los parámetros con los cuales se calcularán los demás.

El primer parámetro consiste en definir si deseamos transmitir con una portadora de 27 o de 49 Mhz. Para fines del circuito da lo mismo, pero para nosotros tal vez no. La razón es que si analizamos el cálculo de las antenas, nos daremos cuenta que su tamaño es inversamente proporcional a la frecuencia de transmisión, esto es; a mayor frecuencia menor la longitud de la antena. Como deseamos que esta sea lo más pequeño posible, entonces será mejor trabajar con la portadora de 49 Mhz.

Los valores de las resistencias que utilizaremos asociadas a las salidas entre la 8 y la 15 nos servirán para controlar las características de tiempo del codificador, el tiempo del generador de pulsos, y las características para la modulación. De hecho, nosotros escogeremos la mayoría de estos parámetros según nos convenga, ya que somos nosotros quienes determinaremos el comportamiento del circuito.

Por el otro lado del generador, tenemos una serie de elementos que se utilizan para la operación interna del chip que no tiene nada que ver con nuestro diseño, tal es el caso de los capacitores, el cristal (que ya predefinimos), etc. No debemos olvidar que nuestro diseño

estará enfocado a producir una portadora de 49 Mhz. La configuración quedaria de la siguiente manera :



Veamos los cálculos para analizar nuestro caso:

Si queremos una Tf de 20 ms, para un tiempo de modulación de unos 0.5 ms, RF quedara definida segun la relación :

$$Rf = \frac{Tf - Tm}{CT} = \frac{20 - 0.5}{0.1 E-6} = 195 \text{ k.}$$

el tiempo de la modulación quedará definido según :

$$RM = \frac{Tm}{0.63 CT} = \frac{0.5}{0.63 (10 E-3)} = 79 \text{ k.}$$

en donde CT se tomo de 0.01 micros

Los componentes de los canales quedan definidos por :

$$Rch = \frac{Tch}{0.63 CT} \quad \text{en donde } Tch = Tn - Tm$$

$$\text{y } Tn = (1 - 0.5) \text{ ms} = 0.5 \text{ ms}$$

$$Rch = \frac{0.5}{0.63 (1 E-6)} = 79 \text{ k.}$$

Los valores de los potenciómetros variables de los canales se encuentran para los peores casos, o sea, los extremos de los mismos:

Rs se escoje para 0 ohms y un ancho de pulso mínimo ;

$$Rs = \frac{Tn - Tm}{0.63 CT} = \frac{1 - 0.5}{0.63 (1 E-6)} = 79 \text{ k.}$$

y Rp se hará para el máximo ancho del pulso ;

$$Rp = \frac{Tn - Tm}{0.63 CT} - Rs = \frac{2 - 0.5}{0.63 (1 E-6)} - 79 = 156 \text{ k}$$

Con estos cálculos ya podemos definir nuestros componentes y ajustarlos a valores comerciales cercanos.

El hecho de tener dos entradas para la logica del sumador es el poder seleccionar el numero de canales digitales que se han de transmitir y los veremos cuando analicemos el receptor de nuestra señal, por el momento es suficiente el saber que podemos tener al menos uno.

Los componentes de radiofrecuencia de la salida, son un ajuste final de la señal y la especificación de sus valores no es crítica porque realmente no importa que la señal sea exactamente como la diseñamos, lo que sí importa y mucho es que el receptor esté ajustado para recibir esa señal, ya que el cristal utilizado y la configuración que se propone nos da una calidad de alrededor de los 30,000 con una pérdida de 50 dB. en ± 10 KHz lo que significa que si aceptamos una gran desviación de frecuencia podríamos perder la transmisión, podremos variar los parámetros pero sin perder de vista estas condiciones. Esto es importante por el problema que tenemos al tener que ajustarnos a valores comerciales que definitivamente restringen un poco nuestras necesidades de diseño.

Cuando hayamos encontrado exactamente el valor de los parámetros del emisor con los valores comerciales, habrá que ajustar perfectamente los parámetros de la recepción para lograr la máxima eficiencia en la transmisión.

Con esto queda definida la primera parte de la segunda etapa de la transmisión ultrasónica que fue el diseñar el emisor ultrasónico, que emitirá una señal al aire cada vez que el haz de luz infrarroja sea interrumpido indicando que el sistema fue violado. El diagrama final de nuestro emisor quedaría así :

correspondiente a la recepción.

La señal en alta frecuencia ha sido generada y transmitida al espacio, ahora debemos recuperarla para poder seguir trabajando con ella. Para lograr esto, debemos diseñar un circuito que sea capaz de captar nuestra información y volverla al dominio que nos interesa, esto es, separar las ondas portadora y moduladora, y llevar a cabo una decodificación que nos entregue la información que en un principio transmitimos.

a) Características de la demodulación :

Tenemos varias alternativas para llevar a cabo la demodulación de una señal, en nuestro caso no hay variación al respecto, debemos demodular de alguna manera la señal de FM. Dadas las características de nuestro diseño, utilizaremos circuitos que en principio sean compatibles con nuestro emisor.

Existe un circuito que será muy útil para nuestros propósitos, ya que podemos configurarlo de diferentes formas y seguramente lo podremos configurar para que sea compatible con las características de nuestra señal. Se trata del demodulador LM 1872. Este integrado, tiene la alternativa de poder manejar información ya sea digital o analógica y un rango de operación de portadora que incluye la nuestra de 49 Mhz, es posible que podamos incluirlo

dentro de nuestro diseño. Veamos sus características eléctricas de operación :

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	7V
Package Dissipation (Note 7)	1000 mW
Voltage @ Pin 7, 8, 9, 10, 11 or 12	V*
Operating Temperature Range	-25°C to +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

DC Electrical Characteristics

V* = 6V, T_A = 25°C. Test Circuit of Figure 7, f_{LO} = 49.890 MHz, f_{IF} = 455 kHz unless otherwise specified.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Supply Voltage	Functional for V _{IN} = 100 μV	2.5	6	7	V
Supply Current	CH A & B Off CH A & B On	9	13 27	18	mA mA
V _{BIAS}	@ Pin 4	1.85	2.1	2.35	V
Sync Timer Threshold	@ Pin 13. Going from Low to High Voltage	V*/2 - 0.4	V*/2	V*/2 + 0.3	V
Digital Channels A and B					
Saturation Voltage	@ Pins 7 & 9, R _L = 100Ω		0.4	0.7	V
Saturation Resistance	@ Pins 7 & 9		7		Ω
Source Current	@ Pins 8 & 10, V _{PIN 8 & PIN 10} = 6V	100			mA
Collector Pull-Up Resistance	Pin 7 & Pin 9 to V*	5	10	20	kΩ
Emitter Pull-Down Resistance	Pin 8 & Pin 10 to GND	5	10	20	kΩ
Analog Channels 1 and 2					
Saturation Voltage	@ Pins 11 & 12, R _L = 2 kΩ		0.45	0.7	V
Saturation Resistance	@ Pins 11 & 12		160		Ω
Collector Pull-up Resistance	Pin 11 & Pin 12 to V*	5	10	20	kΩ

AC Electrical Characteristics

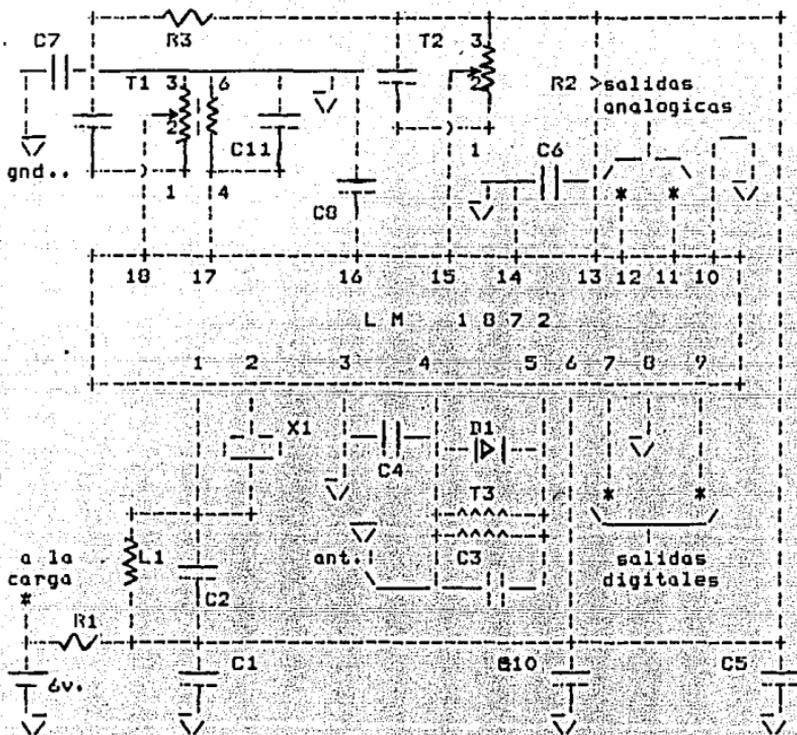
Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
RF Sensitivity	For "Solid" Decodes Outputs (Note 1)		23	26	μV
RF Sensitivity	Circuit of Figure 5 @ 49 MHz with Antenna Simulation Network of Figure 6		12		μV
Voltage Gain	Pin 5 to Pin 15		58		dB
PSRR of RF Sensitivity	3V < V* < 6V		-1		dB
BW	3 dB Down @ Pin 15		2.2		kHz
Noise	Referred to input. Pin 5, V _{IN} = 0 Referred to IF. Pin 15, V _{IF} = 0		0.35 0.28		μVrms mVrms
AGC Threshold	Onset of AGC Relative to RF Input. V _{IN} @ Pin 5 Relative to IF Output @ Pin 15	V* - 0.07	V* + 0.100	V* + 0.13	μV V
Mixer Conversion Transconductance	From Pin 5 to Pin 15 @ 1 MHz @ 27 MHz @ 49 MHz	2.9	4.0 3.7 3.5	6.9	mmhos mmhos mmhos
Mixer Input Impedance	Pin 5 to Pin 4 @ 49 MHz (See Curves)		20 kΩ -5 pF		

El LM 1871 puede configurarse para transmitir hasta 6 canales de los cuales el receptor 1872 utiliza 4 para identificar dos canales digitales y dos analógicos. El receptor decodifica la señal demodulada de radiofrecuencia activando una cascada de tres flip-flops divisores en binario llamados A, B y C. Examinando el estado de las salidas simultaneamente, pueden ser reconocidos y regresados a su forma original hasta 6 intervalos de tiempo de los canales. De hecho solo los dos primeros canales son decodificados usandose para el reconocimiento de los dos canales digitales de forma on/off, y los demas canales quedan definidos de la siguiente forma:

LM 1871			LM 1872	
pin 5 (A)	pin 6 (b)	# de canales transmitidos	cuenta binaria	salidas digitales
al aire	al aire	3	100	off on
a tierra	al aire	4	101	on off
al aire	a tierra	5	110	off on
a tierra	a tierra	6	111	on on

Lo más importante a considerar en este diseño, es el acoplamiento entre el emisor y el receptor, la configuración del circuito está definida por las características del generador y deberemos tener cuidado al seleccionar los valores de los componentes. Al igual que en el caso anterior, no todos los componentes están sujetos a calculo, habiendo algunos cuyos valores están

prefijados como el caso del cristal y algunos capacitores. El circuito que se propone para nuestro caso es el siguiente:



La antena esta acoplada al mezclador a través de un "tanque" formado por C3 y T3. Esto nos ayuda a bloquear otras señales que pudieran filtrarse indeseablemente tanto de FM, de televisión o de alguna otra naturaleza que tal

vez ni nos imaginemos. Los componentes en este caso se escogen segun el criterio del emisor y con la ayuda de las siguientes relaciones :

$$R2 = \frac{T_{sync}}{0.7 (C6)} < 470 K$$

$$\left. \begin{array}{l} C2 = 24 \text{ pF} \\ C3 = 24 \text{ pF} \end{array} \right\} \text{ para } 49 \text{ Mhz}$$

$$C6 = \frac{T_{sync}}{0.7 R2} < 0.5 \text{ mf}$$

$$C7 \Rightarrow 0.01 < C7 < 0.5 \text{ mf}$$

L1 = KEN - 4028

T1 = RMC - 202313

T2 = RMC - 401503

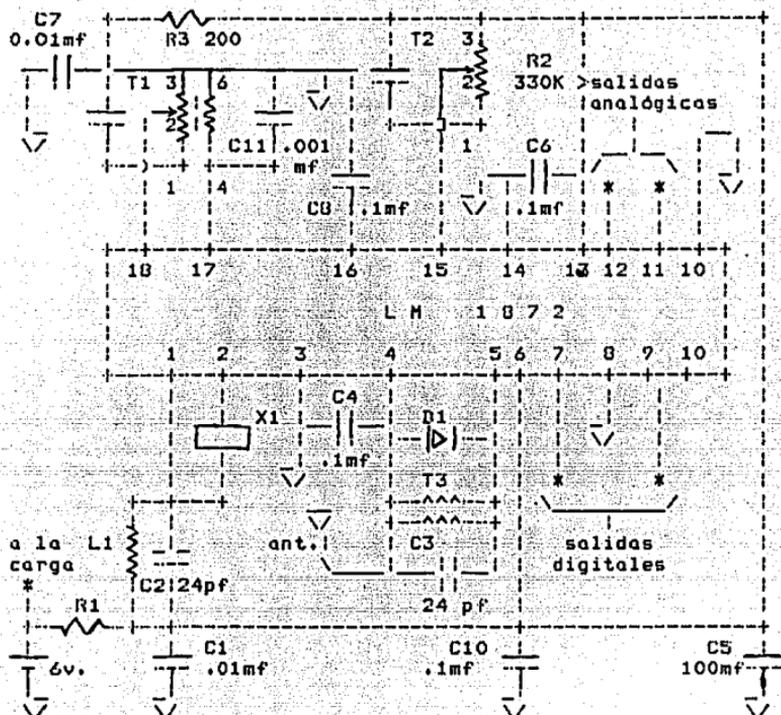
T3 = KEN - 4028

X1 = Cristal de 3er.tono

D1 = proteccion ESD

Estos valores están calculados para trabajar a una frecuencia de 49 Mhz, pero en realidad quedarán presizados exactamente por las características del emisor, o sea, es necesario que primero se le defina con sus componentes finales y analizar la frecuencia que se está manejando exactamente, las tolerancias de los componentes podrian hacer que no se transmitiera bajo las condiciones deseadas. De cualquier manera, debemos apegarnos a la teoría para lograr el esquema general y ya despues hacer los ajustes para lograr que tanto el emisor como el receptor trabajen a la misma frecuencia.

El diagrama final de nuestro receptor quedaria como sigue :



En las salidas del circuito tendremos una señal cada vez que el haz de luz infrarrojo sea interrumpido, y ésta información pasará a la tercera y última parte del sistema que es el tablero de aviso y los actuadores.

Con esto queda diseñada la segunda etapa del sistema; emisión y recepción de la señal ultrasónica, pudiendo continuar con el análisis de nuestro sistema de seguridad.

7.7 Tablero de Visualización .-

El tablero forma la última etapa del proceso de nuestro sistema de seguridad. Aquí es en donde se activarán todos aquellos dispositivos actuadores que movilizarán de una u otra manera al elemento humano para hacerlo formar parte integral del sistema de seguridad.

En este momento la información proveniente de la etapa infrarroja es mostrada visualmente en un tablero que nos indica que hubo una alteración en el sistema y que habrá que tomar las medidas pertinentes. En una acción paralela, el tablero activará un dispositivo acústico el cual emitirá una señal audible indicando también la presencia de tal alteración.

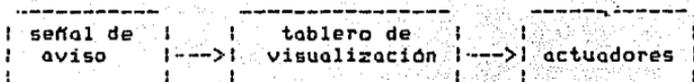
El tablero entonces, tiene la finalidad de avisar al hombre que hay un problema y lo hará activando dos tipos de señal; una visual y una audible.

a) Diseño y construcción .-

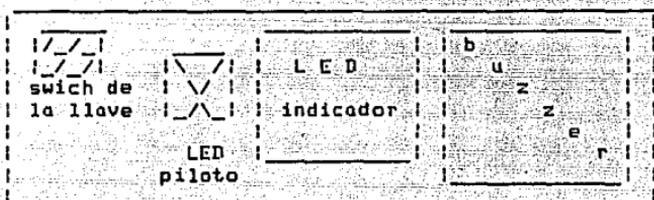
El tablero tendrá que tener los controles necesarios para manejar los dispositivos actuadores, que en éste caso estarán formados por un Led y un buzzer, mismos que deberán activarse cuando el haz de luz infrarroja sea interrumpido.

Para el caso que nos ocupa, el diagrama de bloques

quedaría de la siguiente forma :



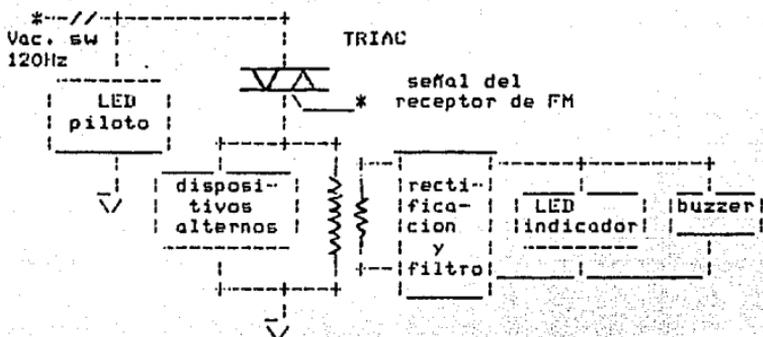
Queremos tener en el tablero una disposición de los elementos de la siguiente forma:



y ahora deberemos a seleccionar y calcular los elementos.

b) Conexiones con los actuadores .-

En la mayoría de los casos, podremos seleccionar dispositivos que sean de naturaleza alterna o directa. Su voltaje de alimentación en cualquier caso se podrá manejar con divisores de voltaje o transformadores sin mayor problema y el flujo de corriente a través de ellos se logrará mediante un triac - o un SCR - que se disparará con la señal proveniente del receptor ultrasónico. En este circuito es en donde más grados de libertad tenemos y podríamos hacer muchos diseños que funcionarían, como una de las alternativas se propone el diagrama siguiente:



- Selección de los parámetros :

El buzzer es un dispositivo comercial de 100 mA y el led también, pero no se necesitan 120 volts para activarlos, sino únicamente unos 5 v. y una muy baja corriente, para lo cual podríamos tener un divisor de voltaje o un transformador. Cabe mencionar, que también podríamos tener conectados dispositivos alternos de potencia, como un motor que cerrara una puerta, etc. para lo cual se conectaría directamente a la fuente de 120 v. Este podría llegar a demandar más corriente y por lo tanto el triac deberá escogerse mínimo para soportar una corriente correspondiente a la suma de todas. Si deseamos añadir más dispositivos, sería en paralelo al conjunto anterior, con lo cual la corriente del triac se incrementaría en tantas veces ese aumento, podríamos escoger uno de digamos 10 A. y aumentar la versatilidad del sistema.

Al analizar los distintos tipos de triacs, nos damos cuenta que hay muchos que nos podrian ser utiles, ya que sus características se ajustan a los valores que estamos manejando en este sistema. Uno que podriamos usar es el TIC-236 y sus especificaciones eléctricas las podemos ver a continuación :

PARAMETRO		CONDICIONES DE PRUEBA		MIN TIP MAX	Unid
I_{ORM}	Corriente pico repet. bloqueo	$V_{ORM} = V_{ORM(max)}$	$I_G = 0, T_C = 85^{\circ}C$	± 2	mA
I_{OTM}	Corriente de disparo de comp.	$V_{CC} = +12V \uparrow$	$R_L = 10 \Omega, t_{p(g)} > 20 \mu s$	15	50
		$V_{CC} = +12V \uparrow$	$R_L = 10 \Omega, t_{p(g)} > 20 \mu s$	-25	-50
		$V_{CC} = -12V \uparrow$	$R_L = 10 \Omega, t_{p(g)} > 20 \mu s$	-30	-50
		$V_{CC} = -12V \uparrow$	$R_L = 10 \Omega, t_{p(g)} > 20 \mu s$	75	
V_{OTM}	Tensión pico de disp. de comp.	$V_{CC} = +12V \uparrow$	$R_L = 10 \Omega, t_{p(g)} > 20 \mu s$	0,9	2,5
		$V_{CC} = +12V \uparrow$	$R_L = 10 \Omega, t_{p(g)} > 20 \mu s$	-1,2	-2,5
		$V_{CC} = -12V \uparrow$	$R_L = 10 \Omega, t_{p(g)} > 20 \mu s$	-1,2	-2,5
		$V_{CC} = -12V \uparrow$	$R_L = 10 \Omega, t_{p(g)} > 20 \mu s$	1,2	
V_{TM}	Tensión pico dir.	$I_{TM} = \pm 12A$	$I_G = 100mA$ Nota 6	$\pm 2,1$	V
I_H	Corriente mantenimiento	$V_{CC} = +12V \uparrow$	$I_G = 0, I_{TM} = 500mA$	20	60
		$V_{CC} = -12V \uparrow$	$I_G = 0, I_{TM} = -500mA$	-30	-60
I_L	Corriente de enclav.	$V_{CC} = +12V \uparrow$	Nota 7	30	70
		$V_{CC} = -12V \uparrow$	Nota 7	-40	-70
dv/dt	Variación crit. tensión bloqueo	$V_{ORM} = V_{ORM(max)}$	$I_G = 0, T_C = 85^{\circ}C$	500	V/ μs
dv/dt	Variación crit. tensión de connt.	$V_{ORM} = V_{ORM(max)}$	$I_{TM} = \pm 12A, T_C = 85^{\circ}C$	5	V/ μs
$I_{T(RMS)}$	Corr. dir. efectiva de onda completa a lo debajo) de 70°C de temp. de la cápsula Nota 2			8	A
I_{TM}	Pico de corriente transitoria directa - onda senoidal completa - Nota 3			70	A
I_{TM}	Pico de corriente transitoria directa de medio onda senoidal - Nota 4			80	A
I_{OM}	Corriente pico de compuerta			1	A
P_{OM}	Disipación pico de potencia a lo debajo) de 85°C de temperatura en cápsula ancho del pulso 200 μs .			2,2	W
P_O	Disipación promedio de potencia en la compuerta a lo debajo) de 85°C de temperatura en la cápsula - Nota 5			0,9	W

E] sistema de seguridad en esta etapa quedará activado cuando se cierre la llave, en ese momento se

prenderá el led piloto indicando que la alarma está funcionando. Al dispararse el triac, se cierra el circuito en esa rama prendiéndose el led y sonando el buzzer. El sistema permanecerá en éste estado hasta que el triac sea desactivado abriendo el swich de la llave.

Con esto queda definida la tercera y última etapa de nuestro proyecto con lo que queda terminado en su totalidad el diseño del sistema de seguridad infrarrojo y ultrasónico, que espero haya cumplido con los objetivos planteados en un principio y realmente nos solucione un problema del cual todos somos parte y víctimas mediante el uso de dispositivos que podemos encontrar dentro de ese espacio tan maravilloso que cada vez nos depara mas sorpresas y adelantos tecnológicos; el mundo de la electrónica.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

El concepto que cada quien tiene sobre el trabajo que desarrolla depende en gran parte del entusiasmo e interés de las razones que nos motivan a hacerlos. Con esto quiero decir que el trabajo que realizamos es o no beneficioso -bajo todos los puntos de vista- en la medida en la que haya satisfecho nuestras necesidades y sobre todo nuestro interés.

Uno de los tantos problemas a los que se enfrenta nuestra sociedad hoy en día es el alto grado de robos y asaltos tanto a casas como edificios, bancos, automóviles, tiendas, etc. y desde hace mucho tiempo los ingenieros se han dedicado a diseñar y desarrollar diversos sistemas de seguridad que de alguna manera permiten proteger esos lugares. En un intento más por lograr el objetivo de estos sistemas es que fue concebido este proyecto.

La tesis expuesta en las páginas anteriores no ha sido para mí un simple requisito más que cumplir, sino el descubrimiento de lo que somos capaces de realizar aplicando con sentido práctico los conocimientos aprendidos durante nuestra vida universitaria en lograr la solución de un problema. Es mediante la elaboración de la tesis cuando realmente se descubre la capacidad de trabajo e inventiva que tenemos para lograr lo que queremos.

El objetivo primordial de esta tesis fué el desarrollar un sistema de seguridad que nos proporcione

una alternativa más para proteger, de ser posible, todo tipo de lugares y objetos. La versatilidad del proyecto fué definida precisamente en la universalidad de la aplicación, sin que se dependiera de la forma del lugar o de sus fronteras, ya que no se trataría de protegerlo en sus límites sino en sus espacios internos.

El cerrar el circuito mediante la utilización de dispositivos de contacto indirecto y manejar la información sin depender de cableados o piezas que tienen que hacer contacto para funcionar, formaron la base de este proyecto, ahí fué en donde la luz y el ultrasonido cumplieron con el objetivo para el cual fueron pensados.

Cabe mencionar que la tesis es más provechosa en la medida en que ésta sea tanto teórica como práctica, ya que esto implica justificar en resultados lo decidido a lo largo del análisis y solución de un problema. Esto lleva al alumno a enfrentar situaciones que deberá resolver en el laboratorio aplicando los conocimientos que debió adquirir para lidiar con el problema de la manera más satisfactoria. Esto implica resolver en la práctica los problemas que presenta toda la realización física del proyecto y con ello dar visión al futuro profesionalista de que y como alcanzará su objetivo.

Quisiera ahora comentar brevemente un par de puntos de interés que note a lo largo del desarrollo de éste trabajo y que se me quedaron en la mente deseandolos destacar:

En primer lugar quisiera comentar que lo aprendido en las catedras de electrónica; la teoría, los métodos de trabajo, las técnicas y criterios de diseño y los cálculos para obtener los valores de los componentes que han de integrar el circuito son logrados en la práctica pero siempre con una cierta insertidumbre. Eso se debe principalmente a las tolerancias de los componentes electrónicos y que en algunos casos nos llevan a obtener resultados con una desviación tan significativa con respecto a los calculados que no podemos aceptar. Es entonces necesario contar con que hay que dejar preparado nuestro diseño para recibir un último ajuste que no podemos conocer sino hasta conectarlo, probarlo y observar su comportamiento.

Otro punto que quiero comentar es lo interesante que resultó ver como funcionan los sistemas alternativos cubriendose mutuamente en caso de falla bajo regimen de operación normal. Creo que sistemas de tal importancia siempre deben tener un sistema de apoyo, realmente se nota el aumento en la confiabilidad del diseño.

El último punto a tocar es que bajo desde el punto de vista tanto técnico como económico, éste diseño

presenta grandes ventajas ya que satisface los requerimientos de un sistema de seguridad muy complejo pero sin serlo y todos los componentes se pueden encontrar en el mercado nacional, lo que mantiene el costo del sistema en un nivel aceptable.

Realmente quede muy contento con el trabajo realizado, hubo mucha investigación, varias alternativas a seguir, muchas decisiones que tomar y, sobre todo, muchas horas invertidas en el laboratorio; probando, fracasando, ajustando, teniendo éxito, en fin aprendiendo...).

Ahora pasadas algunas paginas veo hacia atras y recuerdo el sentir que tenia en un principio; se podrá?, será caro?, funcionará? etc. y es totalmente diferente al sentir de ahora. El trabajo ha sido terminado exitosamente y sentirme contento esperando que siempre pueda seguir desarrollando proyectos que sirvan a la comunidad. La imaginación no tiene fronteras, el futuro es prometedor, hay tanto que investigar tanto que hacer dentro de este micromundo dentro del cual nos estamos moviendo y que ojalá, y son mis mejores deseos, nunca abandone; el mundo de la electrónica.

CAPITULO IX

APENDICE

A: TEORIA DEL MUESTREO

Este concepto tiene un profundo significado en la teoría de la comunicación y la idea principal que sostiene éste principio, es que para transmitir una señal de un punto a otro no es necesario enviar toda la información de la onda, sino que es posible transmitir únicamente pequeñas porciones de la señal llamadas 'muestras' para después, de alguna manera, reconstruir la señal original y así llevar a cabo la transmisión de información. Analizar toda la teoría involucrada tomaría meses, pero si nos interesa mencionar brevemente algunos puntos que están relacionados con este trabajo.

A.1.- El teorema del muestreo.

En este teorema está contenida tal vez la idea más importante acerca de la teoría del muestreo, su enunciado es el siguiente: Una señal limitada en banda que no contiene componentes espectrales mayores que la frecuencia f_m Hz está determinada en forma única por sus valores en intervalos menores de $1/2f_m$ seg.

Esto implica que si la transformada de Fourier de $f(t)$ vale cero fuera de determinada frecuencia $\omega_m = 2\pi f_m$, entonces toda la información acerca de $f(t)$ queda contenida en sus muestras uniformemente espaciadas a

intervalos menores de $1/2f_m$ seg. Esto se ilustra en la siguiente figura en donde se toma una muestra de la función $f(t)$ cada T seg. ($T < 1/2f_m$), es decir, se muestrea la función con una rapidez igual o mayor a $2f_m$.

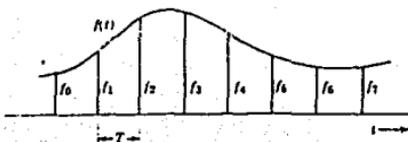


Figura 1.45

Del teorema del muestreo se deduce que estas muestras contienen la información acerca de $f(t)$ en cada valor de t . La rapidez de muestreo debe ser entonces tal que se muestree la señal por lo menos dos veces en cada periodo de la componente de frecuencia más alta de la señal. A este valor de frecuencia se le conoce como 'frecuencia de Nyquist' y es de suma importancia cuando se habla de este tipo de transmisión.

La demostración del teorema se hace fácil con la ayuda de la convolución en frecuencia; si tenemos una señal $f(t)$ limitada en banda que no contiene frecuencias mayores a f_m , implica que la transformada de Fourier de $f(t)$ es cero si $\omega > \omega_m$ ($\omega_m = 2\pi f_m$). Si multiplicamos por una función impulso periódica $d_T(t)$ -fig c-, el resultado será una sucesión de impulsos localizados a intervalos regulares de T seg. con intensidades iguales a los valores

de $f(t)$ en los instantes correspondientes. El producto $f(t)dT(t)$ representa la función $f(t)$ muestreada a intervalos uniformes de T seg. A tal función muestreada la designaremos como $f_s(t)$ -fig e- de modo que $f_s(t) = f(t)dT(t)$.

El espectro de frecuencias de $f(t)$ es $F(w)$. Si la transformada de Fourier de un tren uniforme de funciones impulso $dT(t)$ es otro tren uniforme de impulsos $dW(w)$ -fig d-, los impulsos estarán separados por un intervalo uniforme de $W_0 = 2\pi/T$:

$$dT(t) \longleftrightarrow W_0 dW(w)$$

La transformada de Fourier de $f(t)dT(t)$ estará dada por la convolución de $F(w)$ con $W_0 dW(w)$:

$$f_s(t) \longleftrightarrow \frac{1}{2\pi} [F(w) * W_0 dW(w)]$$

al sustituir $W_0 = 2\pi/T$ obtendremos:

$$f_s(t) \longleftrightarrow \frac{1}{T} [F(w) * dW(w)]$$

Esta ecuación muestra que el espectro de la señal muestreada $f_s(t)$ esta dada por la convolución de $F(w)$ con un tren de impulsos. Podemos someter a las funciones $F(w)$ -fig b- y $dW(w)$ -fig d- a una convolución gráfica; giramos la función $dW(w)$ sobre el eje vertical ($W=0$), como $dW(w)$ es función par de W , la función girada resulta ser la misma función original $dW(w)$. Para realizar la operación

de convolución, desplazamos todo el tren de impulsos $[dW_0(w)]$ en la dirección positiva de w , cuando cada impulso pasa por $F(w)$, reproduce la misma $F(w)$, como los impulsos están a intervalos de $W_0=2\pi/T$, la operación de convolución resulta en que se repita $F(w)$ cada W_0 rad/seg -fig 1-. La función de densidad espectral correspondiente a $f_s(t)$ es, por lo tanto, la misma $F(w)$ pero repetida periódicamente cada W_0 rad/seg. Podemos observar que $F(w)$ se repetirá periódicamente SIN TRASLAPARSE siempre que $W_0 > 2W_m$, o sea;

$$\frac{2\pi}{T} > 2(2\pi f_m) \quad \text{es decir:} \quad T < \frac{1}{2f_m}$$

Por consiguiente, cuando muestreamos una función $f(t)$ a intervalos uniformes menores de $1/2f_m$ seg, la función de densidad espectral de $f_s(t)$ será una replica periódica de $F(w)$, y por lo tanto, contendrá toda la información acerca de $f(t)$.

B: MODULACION EN AMPLITUD

B.1.- Potencia de una señal modulada en amplitud.

En las señales de AM, la información no está contenida en la portadora de modo que la potencia transmitida en dicha señal representa un desperdicio, son las bandas laterales las que contienen la información obteniéndose lo siguiente:

$$X_c(t) = A \cos \omega_c t + \underbrace{m(t) \cos \omega_c t}_{\substack{\text{(bandas} \\ \text{laterales)}}}$$

La potencia de la portadora P_p es el valor cuadrático medio de $A \cos \omega_c t$, y la potencia de las bandas laterales P_b es el valor cuadrático medio de $f(t) \cos \omega_c t$ que es igual a la mitad del valor cuadrático medio de $m(t)$. La potencia total P_t será la suma de las dos componentes:

$$P_p = \frac{A^2}{2} \quad P_b = \frac{1}{2} m^2(t) \quad P_t = \frac{1}{2} \left[A^2 + m^2(t) \right]$$

Es común investigar el porcentaje de la potencia contenida en las bandas laterales:

$$n = \frac{P_b}{P_t} \times 100\% = \frac{\frac{1}{2} m^2(t)}{\frac{1}{2} \left[A^2 + m^2(t) \right]} \times 100\%$$

si aplicamos el máximo índice de modulación posible ($a=1$) a una señal senoidal obtendremos:

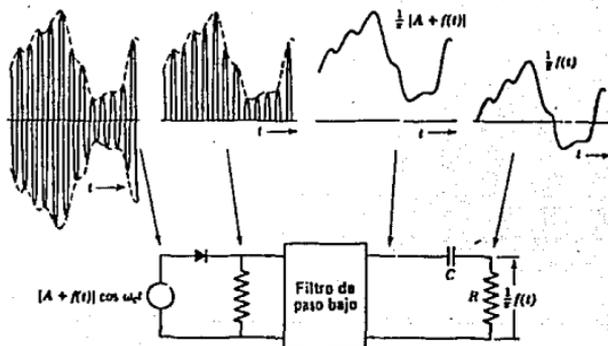
$$n = \frac{\frac{a^2}{2}}{2 + a} \times 100\% = \frac{1}{3} \times 100\% = \underline{\underline{33.3\%}}$$

Con esto vemos que la eficiencia 'n' de la transmisión es apenas del 33%, lo que indica que el 67% de la potencia queda alojada en la portadora y como tal representa un desperdicio.

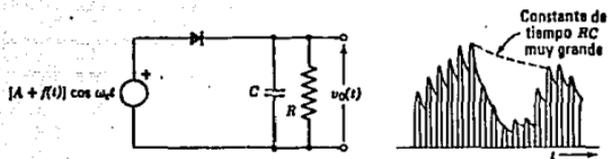
B.2.- Demodulación de una señal de amplitud modulada.

Al llegar la señal al extremo receptor del canal, debe someterse a un proceso conocido como 'demodulación' que consiste en efectuar un proceso inverso a la modulación para dejar la señal recibida como originalmente se tenía en la frecuencia base proveniente de la fuente emisora.

Para detectar una señal de AM se pueden utilizar circuitos de tipo detector-rectificador o detector de envolvente, ambos detectores parecen equivalentes pero funcionan bajo principios totalmente diferentes; el detector rectificador opera bajo el principio de detección sincrónica, mientras que el detector de envolvente es un circuito no lineal cuya salida tiende a seguir a la envolvente de la señal de entrada. A continuación tenemos un esquema mostrando un detector-rectificador:



y a continuación un detector de envolvente;



sin embargo, en muchas ocasiones no es necesario calcular e implementar físicamente éste tipo de circuitos porque éste tipo de detectores se encuentran ya encapsulados en circuitos integrados y eso permite tener un más fácil manejo de este tipo de configuraciones, lo mismo sucederá en el caso de otro tipo de modulación como en frecuencia, por pulsos, etc.

C: MODULACION ANGULAR

Para generar la modulación angular, se debe mantener constante la amplitud de la portadora modulada y se varia linealmente con la señal mensaje $m(t)$ ya sea la fase o la derivada en el tiempo de la fase de la portadora. Por lo tanto, en general una señal de modulación angular esta dada por la expresión:

$$X_c(t) = A_c \cos[\omega_c t + \theta(t)]$$

la fase instantanea de $X_c(t)$ está dada por:

$$\theta(t) = \omega_c t + \theta(t)$$

y la frecuencia instantanea estará dada por:

$$\omega_i(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} = \omega_c + \frac{d\theta}{dt}$$

La función $\theta(t)$ y la función $d\theta/dt$ se conocen como desviación de fase y desviación de frecuencia respectivamente.

Los dos tipos básicos de modulación angular son la modulación en fase PM y la modulación en frecuencia FM.

La modulación en fase implica que la desviación de fase de la portadora es proporcional a la señal mensaje, así para la modulación en fase; $\theta(t) = K_p m(t)$ en donde K_p es la 'constante de desviación de fase' en radianes por unidad de $m(t)$.

De igual manera, la frecuencia modulada implica que la desviación de frecuencia de la portadora es

proporcional a la señal que modula, así para la modulación en frecuencia; $d\theta/dt = K_f m(t)$ en donde K_f es la 'constante de desviación de frecuencia' en rad/seg por unidad de $m(t)$.

La desviación de fase de una portadora modulada en frecuencia viene dada entonces por;

$$\theta(t) = K_f \int_{t_0}^t m(t) dt + \theta_0$$

en donde θ_0 es la desviación de fase para $t=t_0$, como generalmente se acostumbra medir la desviación de frecuencia en hertz, se define a K_f como; $K_f = 2\pi F_d$ en donde F_d se conoce como la 'constante de desviación de frecuencia del modulador' y tiene unidades de hertz por unidad de $m(t)$.

Con estas definiciones, la salida del modulador de fase será:

$$X_c(t) = A_c \cos[\omega_c t + K_p m(t)]$$

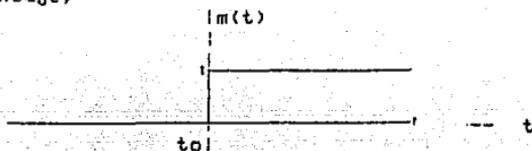
y la salida del modulador en frecuencia será:

$$X_c(t) = A_c \cos[\omega_c t + 2\pi F_d \int_{t_0}^t m(t) dt]$$

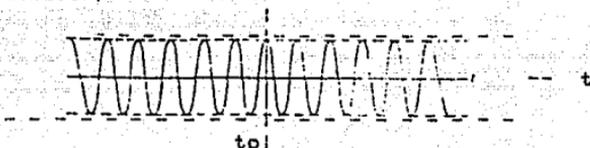
el límite inferior de la integral no se especifica, ya que de hacerlo requeriría de una condición inicial como en el caso de la expresión para $\theta(t)$.

Las salidas de los moduladores de FM y FM para un valor dado de $m(t)$ se muestran en la siguiente figura junto con su supuesto mensaje y una supuesta portadora sin modular:

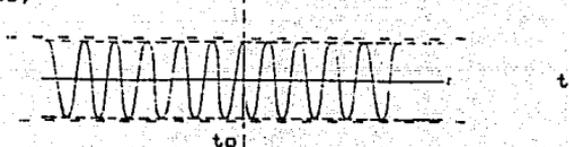
señal mensaje;



portadora sin modular;



salida del demodulador de fase;



salida del demodulador de frecuencia;



C.1.- Modulación angular de banda estrecha.-

Una portadora de modulación angular se puede representar en forma exponencial mediante la relación:

$$X_c(t) = \text{Re} \left[A_c e^{j\omega_c t} e^{j\theta(t)} \right]$$

si tomamos en cuenta la parte real de la expresión que es la que nos interesa y desarrollamos $e^{j\theta(t)}$ en una serie exponencial tendremos:

$$X_c(t) = \text{Re} \left[A_c e^{j\omega_c t} \left(1 + j\theta(t) - \frac{\theta^2(t)}{2!} - \frac{j\theta^3(t)}{3!} + \dots \right) \right]$$

podemos notar que si el valor máximo de $|\theta(t)|$ es mucho mayor que la unidad, es posible hacer la siguiente aproximación:

$$X_c(t) = \text{Re} \left[A_c e^{j\omega_c t} + A_c \theta(t) j e^{j\omega_c t} \right]$$

al tomar la parte real se tiene que:

$$X_c(t) = A_c \cos \omega_c t - A_c \theta(t) \sin \omega_c t$$

La salida del demodulador contiene una componente de portadora y un término en que una función de $m(t)$ multiplica a una portadora desviada 90 grados en fase. Esta multiplicación da origen a un par de bandas laterales, por lo tanto, si $\theta(t)$ tiene un ancho de banda W , el ancho de banda de la salida será de $2W$. Es importante notar que la portadora y la resultante de las

bandas laterales para la modulación angular de banda estrecha con modulación senoidal, están en fase.

Si consideramos un sistema de FM que opera con $m(t) = \cos \omega_m t$ y tomando un tiempo inicial de cero tendremos:

$$\theta(t) = K_f \int_0^t \cos \omega_m t \, dt = \frac{K_f}{\omega_m} \sin \omega_m t = \frac{F_d}{F_m} \sin \omega_m t$$

de manera que:

$$X_c(t) = A_c \cos \left(\omega_c t + \frac{F_d}{F_m} \sin \omega_m t \right)$$

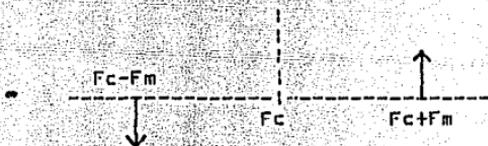
si $F_d/F_m \ll 1$, la salida del demodulador se puede aproximar como:

$$X_c(t) = A_c \left(\cos \omega_c t - \frac{F_d}{F_m} \sin \omega_c t \sin \omega_m t \right)$$

que es:

$$X(t) = A_c \cos \omega_c t + \frac{A_c F_s}{2 F_m} \left[\cos (\omega_c + \omega_m) t - \cos (\omega_c - \omega_m) t \right]$$

cuyo espectro queda configurado de la siguiente forma:



La derivación del espectro de una señal de modulación angular es normalmente complicada, pero si la señal mensaje es de forma senoidal, la desviación instantánea de fase de la portadora modulada también es senoidal para PM y FM y el espectro es más fácil de

obtener. Aunque éste es un caso particular, el comportamiento se puede entender y generalizar para saber que es lo que pasará con otra señal mensaje cualquiera.

Si tomamos como válido el tomar una senoide para generar el espectro tendremos: $\theta(t) = B \text{ sen} \omega_m t$ en donde B se conoce como el 'índice de modulación' y corresponde al valor de la máxima desviación de fase, la expresión para la señal será:

$$X_c(t) = A_c \cos(\omega_c t + B \text{ sen} \omega_m t)$$

relación que se puede expresar como:

$$X_c(t) = A_c \text{Re} \left\{ e^{j\omega_c t} e^{jB \text{ sen} \omega_m t} \right\}$$

La función $e^{jB \text{ sen} \omega_m t}$ es periódica y con frecuencia ω_m y se puede desarrollar en una serie de Fourier. Los coeficientes de la serie vienen dados por la relación siguiente:

$$\frac{\omega_m}{2\pi} \int_{-\pi/\omega_m}^{\pi/\omega_m} e^{jB \text{ sen} \omega_m t} e^{-jn\omega_m t} dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{-j(n\alpha - B \text{ sen} \alpha)} d\alpha$$

Esta integral no se puede evaluar en forma cerrada, es una función de n y de B , y se conoce como la FUNCIÓN DE BESSEL de primera clase, de orden ' n ' y argumento ' B '. Se representa como $J_n(B)$ y se ha tabulado ya para varios valores de n y de B , al conjunto de estos

valores se les conoce como: 'funciones de Bessel'. Con la ayuda de estas funciones, la serie de Fourier para $e^{jB \sin W_m t}$ se puede escribir como:

$$e^{jB \sin W_m t} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(B) e^{jnW_m t}$$

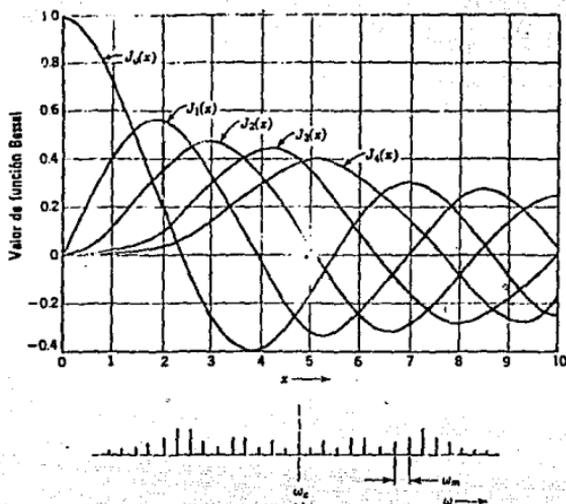
lo que permite escribir la portadora modulada como:

$$X_c(t) = A_c \operatorname{Re} \left[e^{jW_c t} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(B) e^{jnW_m t} \right]$$

al tomar la parte real tendremos:

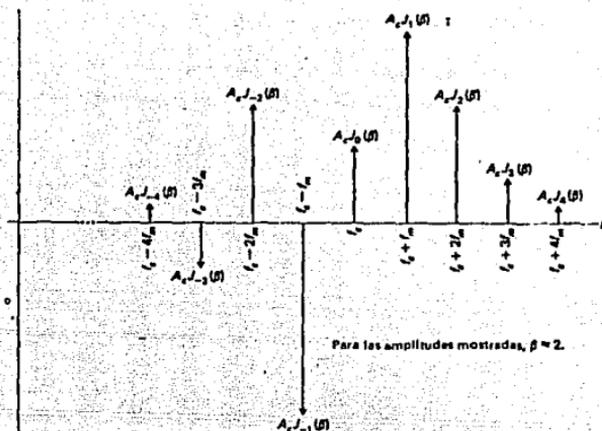
$$X_c(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(B) \cos(W_c + nW_m) t$$

De esta manera podemos ver que el espectro tiene componentes a la frecuencia de la portadora y tiene un número infinito de bandas laterales separadas de la frecuencia portadora por múltiplos enteros de la frecuencia de modulación W_m . Cuando deseamos ver esta información utilizamos el analizador de espectros, en donde quedan registrado el trazo que sigue la onda y podremos medir tanto la frecuencia como la magnitud de las armónicas misma que se puede calcular mediante el uso de la tabla de funciones de Bessel:

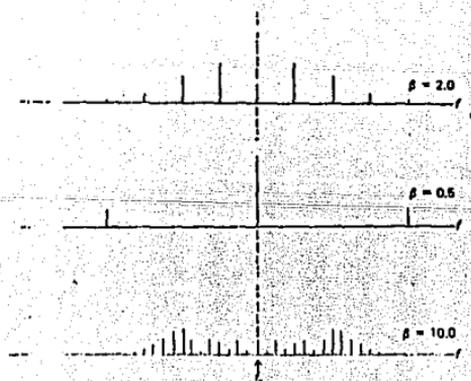


n	b=0.1	b=0.2	b=0.5	b=1	b=2	b=5 ...
0	0.997	0.990	0.930	0.765	0.224	-0.178
1	0.050	0.100	0.242	0.440	0.557	-0.328
3	0.001	0.005	0.031	0.115	0.353	0.047
4				0.020	0.129	0.365
5				0.002	0.034	0.371
6					0.007	0.261
7					0.001	0.131
8						0.053
9						0.018
10						0.006
11						0.001

Estas tablas de funciones de Bessel generalmente muestran el valor de $J_n(B)$ para valores positivos de n , pero no debemos olvidar la definición de $J_n(B)$ que establece que: $J_{-n}(B) = J_n(B)$ para n par y $J_{-n}(B) = -J_n(B)$ para n impar. El espectro monolateral lo podemos ver en la siguiente figura:



Para valores grandes de F_m la señal será de FM de banda estrecha, ya que solamente dos bandas laterales son significativas mientras que para valores pequeños de F_m hay muchas bandas laterales que tienen valor significativo. Esto lo podemos ver en la siguiente figura, en donde aumenta B al disminuir F_m . Tenemos $k=5$, $B=2$ y $\beta=10$



C.2.- Potencia de una señal con modulación angular.

La potencia de una señal con modulación angular se puede obtener de la expresión general $X_c(t) = A_c \cos[\omega_c t + \theta(t)]$. Si la elevamos al cuadrado y tomamos el valor promedio del tiempo tendremos:

$$\langle X_c^2(t) \rangle = A_c^2 \langle \cos^2[\omega_c t + \theta(t)] \rangle$$

que puede escribirse como:

$$\langle X_c^2(t) \rangle = \frac{1}{2} A_c^2 + \frac{1}{2} A_c^2 \langle \cos[2\omega_c t + 2\theta(t)] \rangle$$

si la frecuencia de la portadora es grande, $X_c(t)$ tendrá un contenido despreciable de frecuencia en la región de X , el segundo término será despreciable y obtendremos que:

$$\langle X_c^2(t) \rangle = \frac{1}{2} A_c^2$$

con lo que vemos que la potencia contenida a la salida de un modulador angular es independiente de la señal mensaje.

C.3 Ancho de banda de una señal con modulación angular.--

Estrictamente hablando, el ancho de banda de una señal modulada angularmente es infinito, ya que la modulación angular de una portadora da por resultado la generación de un número infinito de bandas laterales, sin embargo en la tabla de las funciones de Bessel podemos ver que la amplitud -y por consiguiente la potencia- de

algunas bandas laterales se torna despreciable para valores grandes de n . Siguiendo este lineamiento, se puede considerar que forman el ancho de banda únicamente las bandas laterales que contengan una potencia significativa, así la potencia total de la señal estará dada por la suma de la potencia de la componente central más las potencias de las k -ésimas bandas laterales significativas:

$$P = J_0^2(B) + 2 \sum_{n=1}^k J_n^2(B)$$

Si resolvemos esta relación con la ayuda de las tablas, veremos que puede decirse que el ancho de banda está dado por la relación; $BW=2kF_m$. Si en la ecuación anterior utilizamos un nivel de potencia permitido de $P > 0.9B$, notaremos que k tiende a n , y está a su vez se convierte en el valor de la parte entera de $(1+B)$ con lo que: $BW=2(B+1)F_m$.

Claro está que se supuso una modulación senoidal, ya que B únicamente es aplicable en este caso, pero si quisieramos generalizar para un mensaje cualquiera $m(t)$ arbitrario tendremos que definir una relación diferente de desviación de frecuencia que está dada por:

$$B = \frac{\text{desviación pico de frecuencia}}{\text{ancho de banda de } m(t)}$$

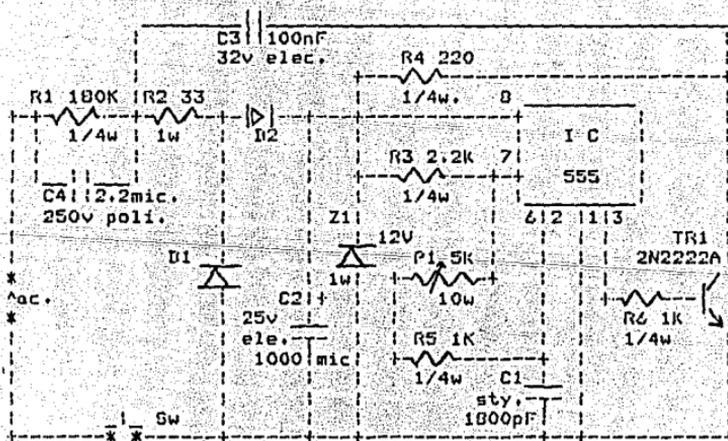
que es:

$$B = \frac{F_d}{W} [\max |m(t)|]$$

Como ésta relación de desviación juega el mismo papel para la modulación no senoidal que el índice de modulación juega para los sistemas senoidales, podemos sustituir B por D y F_m por DW quedando: $BW=2(D+1)W$. Esta expresión para el ancho de banda es muy importante y se conoce como la REGLA DE CARSON. Si $D \ll 1$, el ancho de banda es aproximadamente $2W$ y la señal se denominará 'de banda estrecha', por el contrario, si D aumenta, tendremos que; $2DW=2F_d(\max |m(t)|)$ que es el doble de la desviación pico de frecuencia. A estas señales se les conoce como de 'banda ancha' de modulación angular.

D: LAS CARRIENS.-

Las tres etapas principales que forman un circuito para emitir y recibir una onda carrier son: la rectificación, las filtración y la estabilización. El circuito deberá estar conectado a la línea de la red de distribución eléctrica y por eso es que la etapa de rectificación es necesaria, debemos de ahí poder obtener un voltaje de directa para poder polarizar el oscilador, dado que la utilización de un transformador no es posible, se utiliza un divisor de voltaje. Para lograr tal efecto, la etapa de filtrado elimina las posibles señales ajenas a nuestro circuito y la estabilización nos permitirá tener una señal de directa muy limpia, que es lo que necesitamos. Se propone el siguiente circuito generador:



Como podemos ver, el circuito está formado por un circuito rectificador de la tensión alterna de la red formado por D1 y D2 -de la serie 4007- con una red en serie compuesta por R1, R2 y C4 que absorbe la diferencia de potencial que existe entre los 127v de la línea y los 12v que queremos. La rectificación es de media onda a través de R2. La tensión obtenida se filtra en C2 y se estabiliza con un zener Z1. La media onda restante se cierra a través de D1. R3, R5, P1 y C1 son los componentes asociados al oscilador que fijan la frecuencia de la portadora deseada que, a través de R6, llega al transistor TR1 que la amplifica y la manda de regreso a la línea a través de C3 y C4. La resistencia R4 se comporta como carga del colector.

Esta configuración para generar una carrier está contenida en un circuito integrado y por eso es que no es necesario calcular cada uno de los componentes involucrados, solo debemos fijar las necesidades de diseño y, en base a éstas, escoger cual es el que se ha de utilizar para nuestro caso particular.

En el caso del receptor, se presentará una situación similar al caso del emisor, también deberá estar conectada a la línea, por lo que deberá tener una etapa de rectificación y filtrado para poder obtener una señal de directa que polarize, en este caso, un filtro pasa-banda

zener Z2. La detección de la señal enviada la hace un detector de frecuencia mediante C12 y C6 y compara la frecuencia recibida contra la que él mismo genera que queda fijada por C5 y R10. Si ambas coinciden, existirá una señal de salida que se emplea para disparar el triac Tc1 que es el que se encarga de alimentar la carga que exista entre los puntos A y B del sistema. El LED DL1 se enciende si el triac funciona y nos indicará cuando el sistema está funcionando.

Al igual que en el caso del emisor, no hay necesidad alguna de estar calculando los componentes del circuito, ya que el conjunto se encuentra encapsulado en un circuito integrado al que nosotros le asociamos algunos componentes externamente para controlarlo según las necesidades que especifiquemos en nuestro proyecto.

CAPITULO X

BIBLIOGRAFIA

- 1.- IC TIMER COOK BOOK
Walter G. Young
- 2.- OPTOELECTRONICS DEVICE DATA
Motorola inc.
- 3.- OPTOELECTRONICS THEORY AND PRACTICE
Texas Instruments electronic series
- 4.- THE OPTOELECTRONICS DATA BOOK
Texas instruments inc.
- 5.- UNDERSTANDING OPTOELECTRONICS
Texas instruments
- 6.- COMPENDIO PRACTICO DE ACUSTICA
J. Perez mirallo
- 7.- ELECTRONIC DEVICES AND CIRCUIT THEORY
Robert Boylestad and Leus Nashelsky
- 8.- THE MEANING OF SOUND
Colins A. Ronan
- 9.- SOUND
Graham Chedd

10.- THE WORLDS OF SOUND

Irwin Stambler

11.- ELECTRONIC COMMUNICATION SYSTEMS

George Kennedy

12.- FUNDAMENTALS OF ELECTRONICS

Jack Blitz

13.- TRANSISTOR DATABOOK

National Semiconductor

14.- LINEAR DATABOOK

National Semiconductor

15.- LOGIC DATA BOOK

National Semiconductor