

59



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## FACULTAD DE INGENIERÍA

### SISTEMA DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE SEÑALES DE VIDEO Y DE CONTROL PARA UN ROBOT MÓVIL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO-ELECTRICISTA  
P R E S E N T A

**CARLOS EUGENIO OJEDA NAVA**

DIRECTOR DE TESIS: M. en I. SERGIO QUINTANA THIERRY

LABORATORIO DE ELECTRÓNICA  
CENTRO DE INSTRUMENTOS



MÉXICO, D.F.

2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

Agradezco a Dios por haberme dado la oportunidad de lograr lo hasta hoy hecho.

Agradezco a mis padres por su apoyo.

Agradezco a mi hermana Martha y demás hermanos por su apoyo.

Agradezco a mi novia Araceli Valeriano por su amor, comprensión, apoyo y compromiso.

Agradezco a Arturo Huerta por su amistad y apoyo.

Agradezco a mi asesor y amigo Sergio Quintana Thierry por su apoyo y enseñanzas, de igual manera agradezco a mis amigos José Castillo, Miguel A. Bañuelos, Jorge Valeriano, Etna Cervantes, Gerardo Calva, Rosendo Fuentes, Wilfredo Martínez, Arturo Nogueira, Gerardo Rayo, Sandro Caballero y demás personas que de alguna manera contribuyeron en mi formación académica-universitaria.

Agradezco a mi amigo Gerardo Fernández Noroña por su apoyo y amistad

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	5
<b>CAPÍTULO 1. CARÁCTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DE VIDEO COMPUESTO, MODULACIÓN AM, FM Y PM .....</b>	<b>11</b>
1.1.- Características generales de la señal de video compuesta del estándar NTCS .....	11
1.2.- Análisis de la modulación AM, FM y PM .....	18
1.2.1.- Modulación en amplitud (AM) .....	20
1.2.2.- Modulación en frecuencia (FM) .....	23
1.2.3.- Modulación en fase (PM) .....	24
1.2.4.- Comparación entre AM y FM .....	26
1.2.5.- Contrastes entre AM y FM .....	26
1.2.6.- Transmisores .....	27
1.2.7.- Receptores .....	27
<b>CAPÍTULO 2. TÉCNICAS DE MODULACIÓN DE DATOS DIGITALES .....</b>	<b>30</b>
2.1.- Descripción de los métodos de modulación para la transmisión de datos digitales: OOK, ASK, FSK .....	30
2.1.1.- Modulación ASK y OOK .....	30
2.1.2.- Modulación FSK .....	31
2.2.- Comparación de sistemas de modulación digital .....	33
2.3.- Modulación OOK, ASK y FSK en presencia de una señal de interferencia .....	35
2.3.1.- Probabilidad de error para la modulación OOK y FSK .....	38
2.3.2.- Probabilidad de error para OOK con una señal de interferencia ...	40
2.3.3.- Probabilidad de error para ASK .....	43
2.3.4.- Probabilidad de error para ASK con una señal de interferencia ....	45
2.3.5.- Probabilidad de error para FSK .....	48

2.3.6.- Resultados de laboratorio .....	49
2.3.7.- Conclusión .....	53
2.4.- Aplicaciones de circuitos de modulación OOK .....	53

**CAPÍTULO 3. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES, INFORMACIÓN DE LOS SENSORES, MEZCLA Y MODULACIÓN DE LA SEÑAL DE VIDEO .....** 54

3.1.- Adquisición de imágenes por medio de una cámara CCD .....	54
3.2.- Sistema de monitoreo de la señal de video del robot .....	56
3.3.- Sistema generador de las señales de control del robot .....	58
3.4.- Sistema de adquisición de información de dirección .....	60
3.5.- Sistema electrónico para la mezcla de las señales de video compuesto, datos de dirección del robot y datos de los actuadores .....	64
3.6.- Sistema modulador de video en AM .....	67
3.7.- Sistema regulador de voltaje para los circuitos electrónicos .....	71

**CAPÍTULO 4. RECEPCIÓN DEL VIDEO, SEPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL ESTADO DEL ROBOT Y LECTURA DE LOS DATOS IGER POR EL PUERTO PARALELO .....** 73

4.1.- Sistema receptor de <i>RF</i> de la señal de video compuesto mezclada .....	73
4.2.- Sistema separador de señales de video y de las señales de control de la dirección .....	75
4.3.- Sistema de acoplamiento de las señales IGER para su lectura por el puerto paralelo de una PC .....	77
4.3.1.- Características del puerto paralelo de una PC .....	77
4.3.2.- Acoplamiento con el puerto paralelo y lectura de los datos IGER .....	80
4.4.- Tarjeta digitalizadora .....	82

<b>CAPÍTULO 5. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS DIGITALES DE LA</b>	
<b>PC HACIA EL ROBOT .....</b>	<b>84</b>
5.1.- Interface con el puerto paralelo y serialización de los datos de control .....	84
5.2.- Carga de los 3 bytes de datos .....	86
5.3.- Señales de sincronía y lógica Booleana de control .....	87
5.4.- Sistema de transmisión OOK de los datos de control .....	88
5.5.- Circuito de suministro de energía .....	90
<b>CAPÍTULO 6. SISTEMA DE RECPCIÓN DE DATOS DIGIYALES DE CONTROL</b>	
<b>EN EL ROBOT DESDE LA PC .....</b>	<b>91</b>
6.1.- Sistema de recepción de datos de control en el robot .....	91
6.2.- Sistema de monitoreo de la señal de video y circuito generador de las señales de control .....	92
6.3.- Paralelización de los datos de control .....	95
6.4.- Sistema motriz .....	96
6.5.- Diseño de antenas para aplicaciones de baja potencia .....	99
<b>CAPÍTULO 7. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL</b>	
<b>SISTEMA COMPLETO .....</b>	<b>105</b>
7.1.- Presentación del sistema completo .....	105
7.2.- Circuitos esquemáticos .....	106
7.3.- Circuitos impresos .....	107
7.4.- Programa de simulación y de control del robot .....	107
7.5.- Pruebas del sistema de transmisión y recepción del video y datos IGER .....	110
7.6.- Pruebas del sistema de envío y recepción de datos digitales de control .....	113
<b>Conclusiones .....</b>	<b>118</b>
<b>Glosario de términos .....</b>	<b>120</b>

<b>Material consultado .....</b>	<b>121</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>121</b>
<b>Manuales y folletos .....</b>	<b>122</b>
<b>Consultas en internet y otros .....</b>	<b>123</b>

# Introducción

## **Objetivo:**

Desarrollar un sistema de transmisión y recepción de señales de video y de control para un robot móvil; además de probar y demostrar la viabilidad de las configuraciones electrónicas propuestas.

## **Entorno actual:**

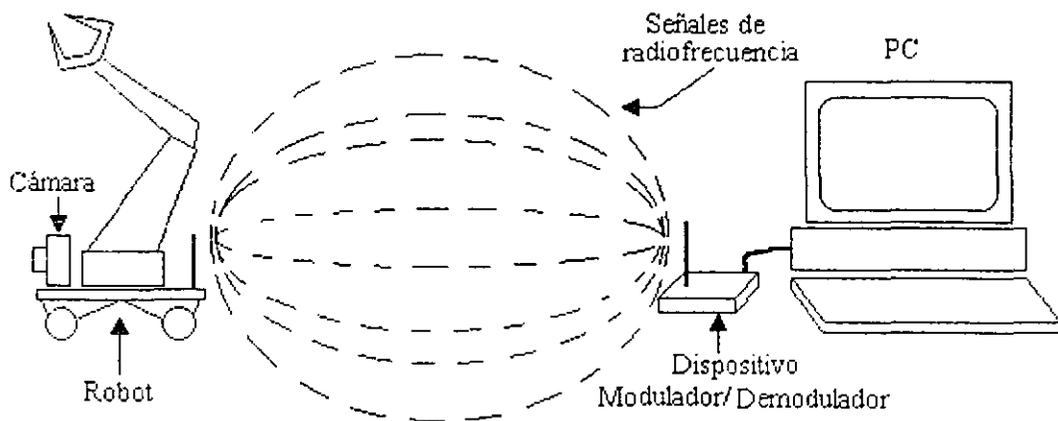
En el mundo moderno actual, los avances tecnológicos en el campo de la robótica y telemática tienen una gran importancia, ya que de ellos depende en gran medida quién esté a la vanguardia en la exploración del espacio exterior, el mundo marino, etc; o lo referente a la manipulación de objetos en ambientes inhóspitos para el ser humano, tales como en fundidoras, áreas de desastre, ambientes con radiación, entre otros

En México, es relativamente nuevo este campo de estudio, por lo que la demanda de equipos con características robóticas autónomas y de control a distancia son de gran importancia y con una gran proyección en el futuro; es por eso que se planteó realizar un sistema robótico con capacidad de transmitir video y datos digitales, además de poder recibir datos de control de una PC situada en una estación remota.

## **Esquema general:**

Como parte de una de las premisas fundamentales en el campo de la investigación y del desarrollo tecnológico que se realizan en el Centro de Instrumentos de la UNAM, se planteó la elaboración de este trabajo de tesis, el cual comprende un sistema de transmisión y recepción de señales de video y de control para un robot móvil.

El esquema principal del sistema es tal y como se muestra en la siguiente figura:



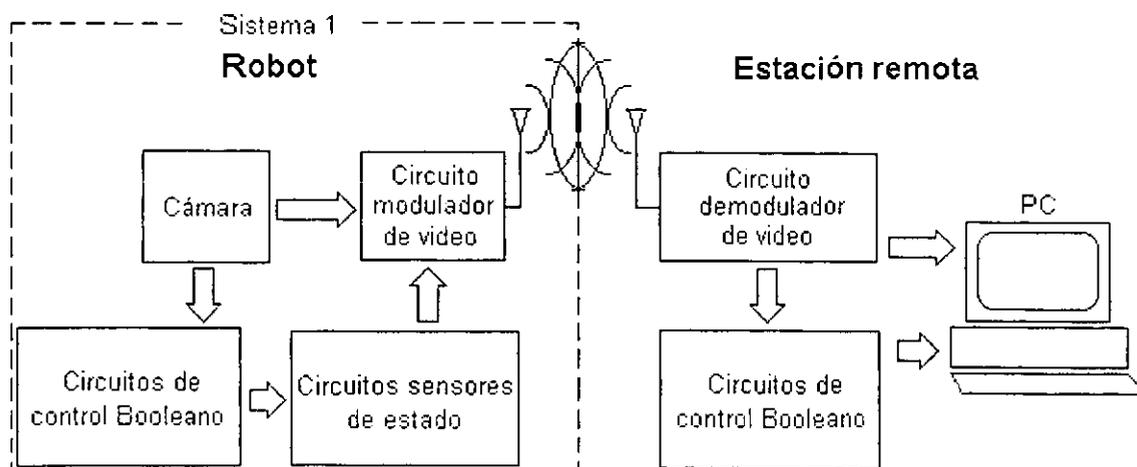
Desde el robot móvil se hará la transmisión de la señal de video, esta señal se adquiere de una cámara CCD (Charge Coupled Device) montada en el mismo, la información de video compuesta será mezclada junto con la información digital de los sensores que indicarán el estado general del robot, es decir, si el robot está avanzando, si está girando, etc. Desde el principio se planeó que el robot sería autónomo; haremos la transmisión del video de manera inalámbrica, para ello, la información será enviada por medio de radio frecuencia (RF) en AM en la banda VHF a una frecuencia de 83.5 MHz hacia una PC. Una vez recibida la señal de RF en la PC, ésta es demodulada para recuperar de manera independiente la señal de video compuesta y la señal IGER (*información general del estado del robot*) proveniente de los sensores y actuadores. El video será digitalizado por una tarjeta de adquisición de imágenes (frame grabber) de marca registrada que ya se cuenta con él en el Centro de Instrumentos de la Universidad Nacional Autónoma de México. Las señales IGER serán acopladas para poder hacer la interface con el puerto paralelo de la PC.

Una vez procesada la información, se podrá tomar una acción de control para el robot, es decir, mandar girar 45°, avanzar 30 cm, etc. Para ello se contará de manera análoga con un modulador OOK (*On-Off Keying*) para datos digitales que opera a una frecuencia de 916.5 MHz que manejará la información desde el mismo puerto paralelo.

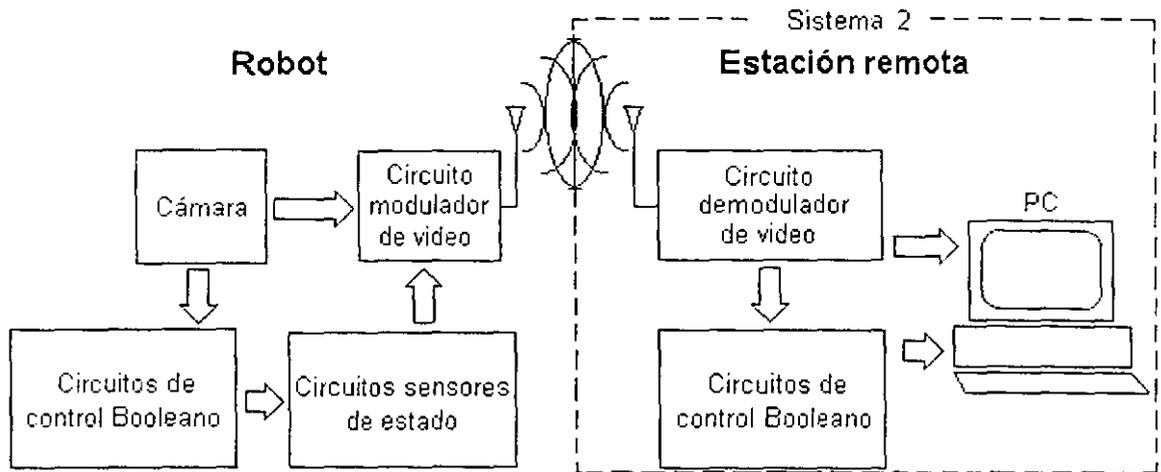
frecuencia de 916.5 MHz que manejará la información desde el mismo puerto paralelo. Tendremos la posibilidad de transmitir a una velocidad de hasta 15.7 kbit/s. Para lograr aplicar esta información de control proveniente de la PC, utilizamos un demodulador montado en el robot, finalmente estas señales accionarán el actuador correspondiente. Obteniéndose así el lazo cerrado para una acción de control con retroalimentación.

Todo el sistema que comprende la PC y el robot, están resumidos en cuatro grandes sistemas electrónicos:

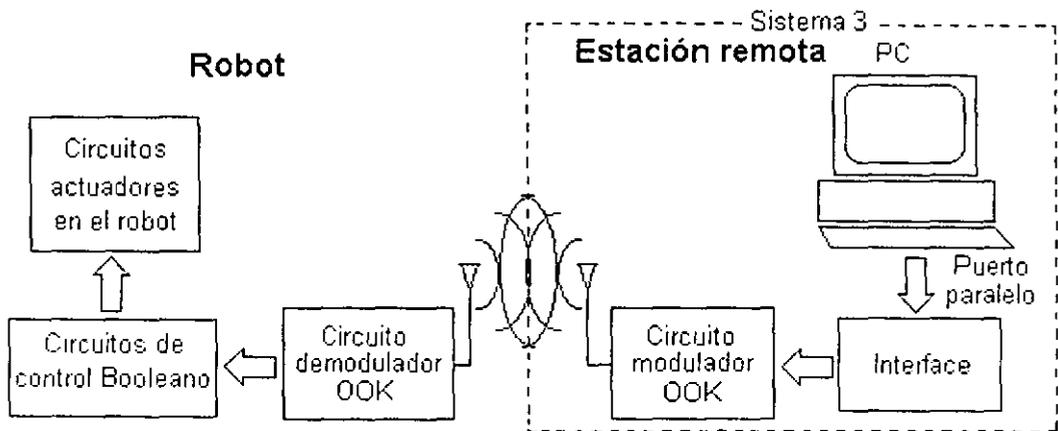
1.- Sistema de adquisición de imágenes de video, sistema de adquisición de 3 bytes de datos de información general del estado del robot, mezcla de ambas señales y el sistema de modulación en AM en la banda VHF a 83.5 MHz de toda esta información.



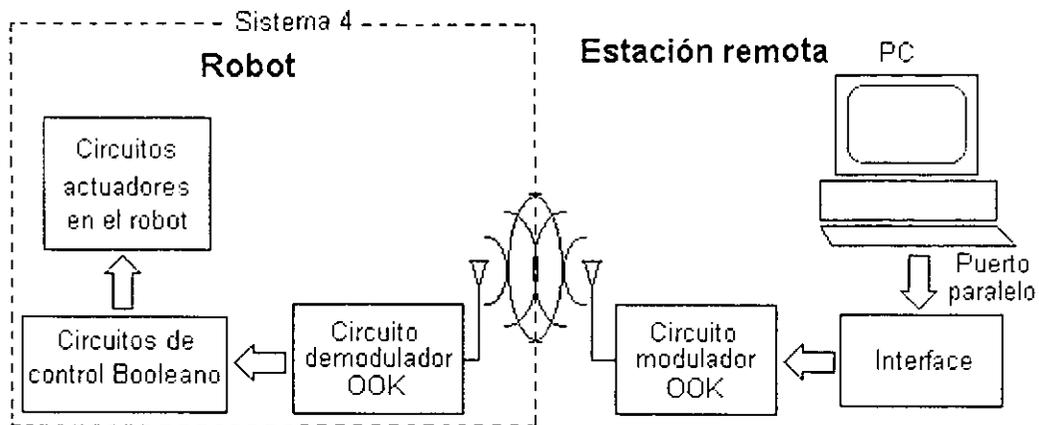
2.- Sistema receptor demodulador de información en *RF* en AM proveniente del robot. Se obtienen por separado la información de la señal de video compuesta y por otro lado los 3 bytes de datos de la señal IGER.



3.- Sistema emisor modulador desde el puerto paralelo de la PC hacia el robot para enviar 3 bytes de datos de control en modulación OOK.



4.- Sistema demodulador en OOK para recuperar los 3 bytes de datos de control provenientes de la PC y aplicarlos a los actuadores en el robot.



### Desarrollo e implementación.

El presente trabajo está constituido por 7 capítulos, que conforman una explicación y análisis de las señales de video, tipos de modulación de datos e imagen, sus características fundamentales, implementación y prueba de los circuitos electrónicos y finalmente la conjunción de todos ellos.

*Capítulo 1.* Revisa los fundamentos necesarios para describir las características de la señal de video compuesto estándar NTSC (*National Television System Committee*); además revisa y compara las técnicas de modulación más empleadas: AM, FM y PM, sus moduladores y demoduladores; finalmente se hace referencia a los motivos por lo que decidió utilizar AM para el video.

*Capítulo 2.* Describe los métodos más empleados y las características básicas de la modulación de datos digitales, tales como: OOK, ASK y FSK. Adicionalmente, se analiza el desempeño de estas técnicas ante la presencia de interferencia.

*Capítulo 3.* Presenta los primeros circuitos implementados; los de adquisición de imágenes utilizando una cámara CCD, circuitos de adquisición de datos de los sensores, mezcla y modulación en AM de ambas señales.

*Capítulo 4.* Presenta al segundo sistema electrónico; abarca la recepción y demodulación de la señal de video junto con la señal de los sensores, para posteriormente leer esos datos por el puerto paralelo.

*Capítulo 5.* Muestra el tercer sistema electrónico, el cual envía datos digitales de control por *RF* hacia el robot desde la PC.

*Capítulo 6.* Comprende al cuarto y último sistema electrónico. Está conformado por el demodulador/receptor de datos digitales que han sido enviados desde la PC para ser ejecutados por el robot.

*Capítulo 7.* Es la síntesis y prueba completa de todos los sistemas interactuando juntos.

# Capítulo 1. Características de la señal de video compuesto y modulación AM, FM y PM.

Este capítulo muestra las características básicas de la señal de video compuesto estándar NTSC; posteriormente se analizan y comparan las técnicas de modulación en AM, FM y PM, para finalmente analizar los transmisores y receptores de AM y FM.

## 1.1.- Señal de video compuesta del estándar NTCS.

Observando cualquier imagen en la pantalla de una TV, vemos que esta imagen está compuesta de una serie de líneas paralelas oblicuas formadas por un rayo de luz llamado rayo inscriptor, tal como se muestra en la Fig.1.1

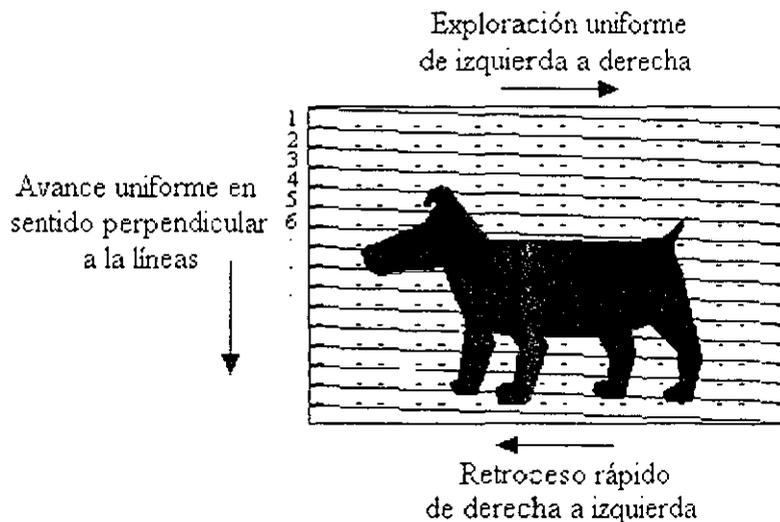


Figura 1.1. Imagen de TV.

El trazado de las líneas se hace desde el lado izquierda hacia el lado derecho y al finalizar esa línea es necesario regresar al extremo inferior izquierdo para continuar con la siguiente línea. La señal eléctrica que maneja al rayo inscriptor requiere de un pulso de sincronía que se emite al inicio de cada línea en forma de un impulso de corriente. Este pulso se representa por una señal con una amplitud del 75 al 100% del

máximo valor posible. Después del pulso, se codifica la imagen en forma de una señal eléctrica continua, de tal manera que, su amplitud representa el tono del rayo inscriptor, desde el blanco hasta el negro. Que comprenden así desde el 12.5 hasta el 70% del máximo posible. La señal eléctrica capaz de realizar tal tarea según las referencias [3] y [9] es como la que se muestra a continuación:

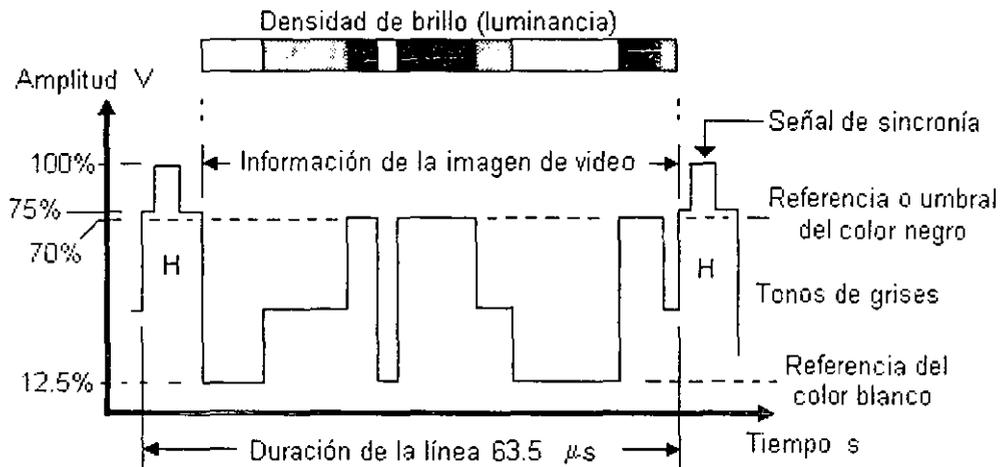


Figura 1.2. Señal de video compuesto con algunas características.

En la Fig.1.3 se muestra el oscilograma de unas líneas de video compuesto:

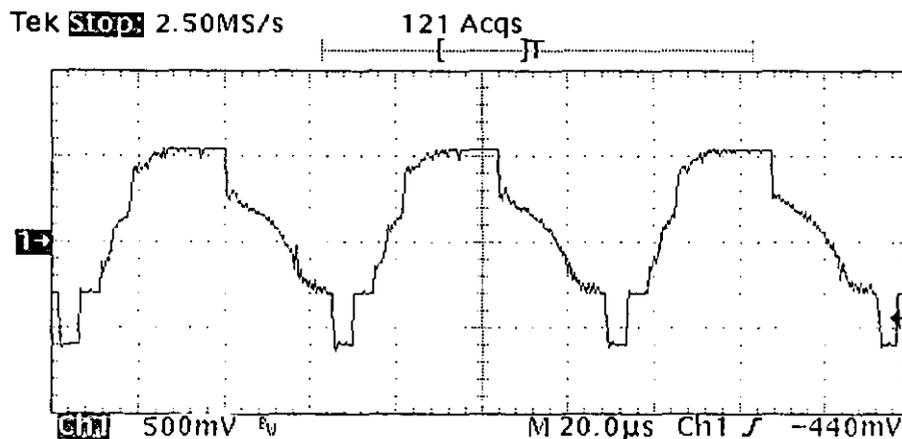


Figura 1.3. Oscilograma de la señal de video compuesto.

Para la norma norteamericana NTSC aprobado por la FCC (Federal Communications Commission) a principios de la década de los 40's, la imagen se compone de 525 líneas, cada imagen parcial consta de 262.5 líneas. A 30 imágenes por segundo de 525 líneas cada una, se exploran en un segundo 15,734.25 líneas (ver referencias [3] y [8]).

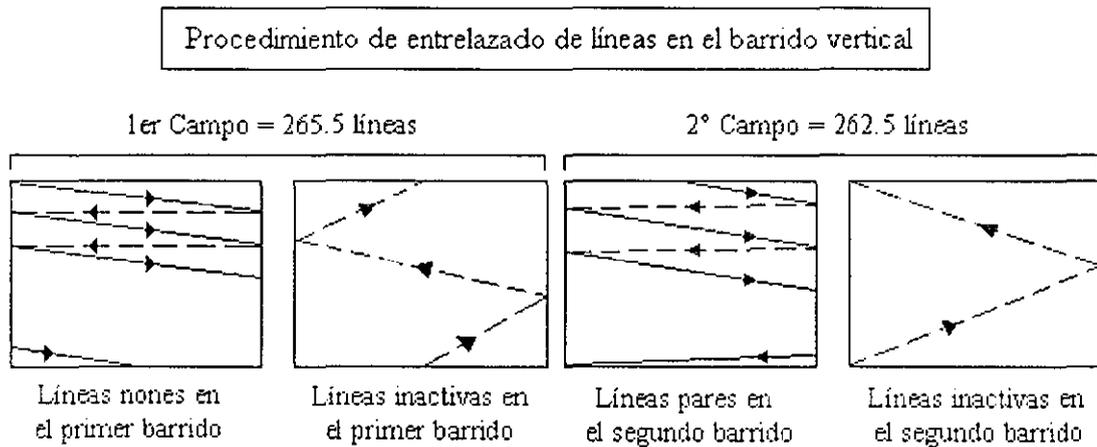


Figura 1.4. Entrelazado de líneas pares y nones para formar una imagen.

Para lograr una secuencia de imágenes sin centelleo, se emplea la misma técnica que en cinematografía, primero se transmiten las 30 imágenes impares o nones y posteriormente las pares, de tal manera que se forme un cuadro completo; lo cual se denomina *entrelazado de líneas*.

El número de cuadros o imágenes completas exploradas por segundo es lo que se conoce como *frecuencia de cuadro*; teniendo un valor de 30Hz. El número de imágenes parciales (campos) explorados en un segundo es la *frecuencia de campo o frecuencia vertical*, ya que al comenzar una nueva imagen parcial el punto inscriptor tiene que saltar hacia arriba (verticalmente); teniendo así un valor de frecuencia de 60Hz.

La señal de cada línea que contiene la información de la imagen y la señal de sincronía, tiene una duración de 63.5  $\mu$ s.

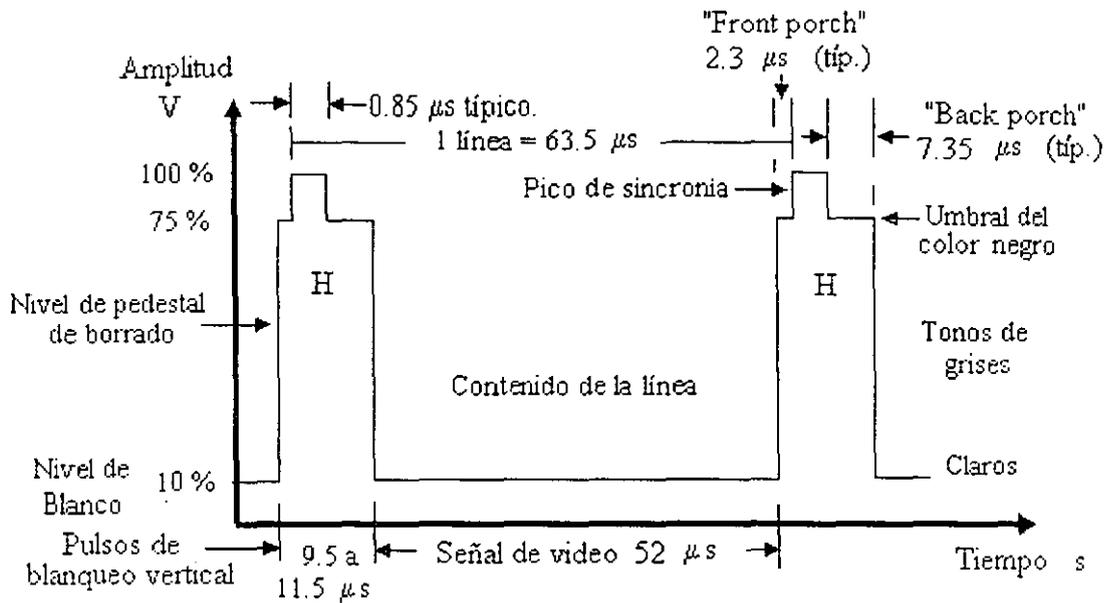


Figura 1.5. Señal de video compuesto con características de tiempo.

De este tiempo tenemos aproximadamente  $10.5 \mu s$  para la señal de exploración y de sincronismo. Y el resto de aproximadamente  $53.5 \mu s$  se utilizan para la información de video. El valor de los pulsos de sincronismo es de 75 a 100 % de la amplitud máxima de la señal de línea.

Por lo tanto, para el entrelazado o sucesión de imágenes tenemos que la señal de video compuesto o señal RGB (*Red-Green-Blue signal*), se forma de líneas horizontales (H) con una duración de  $63.5 \mu s$  y contiene pulsos de blanqueo que duran de 9.5 a  $11.5 \mu s$ , los pulsos de sincronía de  $4.75 \pm 0.5$ , el "front porch" de  $1.27 \mu s$  (mínimo) y el "black porch" de  $3.81 \mu s$  (mínimo) y la línea de la imagen de 52 a  $54 \mu s$ ; y la de blanqueo vertical, cuya duración total es de  $0.8 \mu s$  a  $1.3 \mu s$ , la anterior comprende 6 pulsos de sincronía vertical, la duración de cada pulso es de  $H/2 = 31.75 \mu s$ , por lo tanto la duración de los seis pulsos es de  $190.5 \mu s$ , además contiene 6 pulsos igualadores con una duración por pulso de  $2.54 \mu s$ , la duración de cada aserración de la sincronía vertical es de  $2.54 \mu s$ , finalmente, el tiempo de campo visible es de 15 a 16 ms, englobado todo por la duración total del campo equivalente a  $16.7 ms = 1/60 s$ .



A continuación vemos un oscilograma donde apreciamos estos detalles:

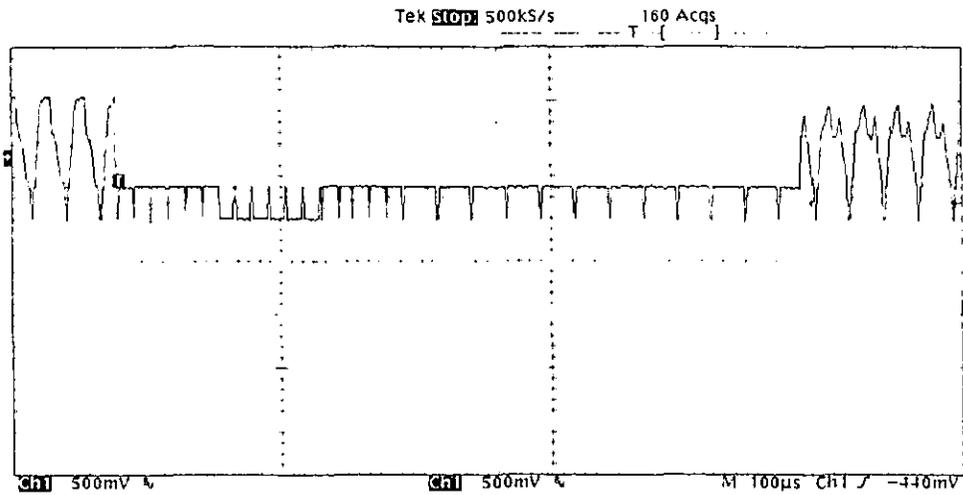


Figura 1.8. Oscilograma mostrando los pulsos de ecualización para la trama.

A continuación en la Fig.1.9 se muestra una imagen y las correspondientes señales de video para las líneas a, b, c y d:

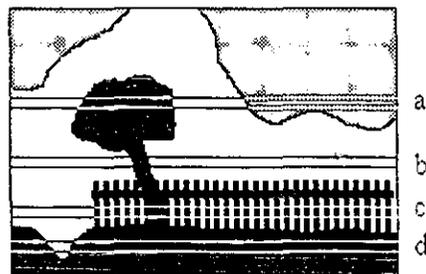


Figura 1.9. Imagen completa y las muestras a analizar a,b,c y d.

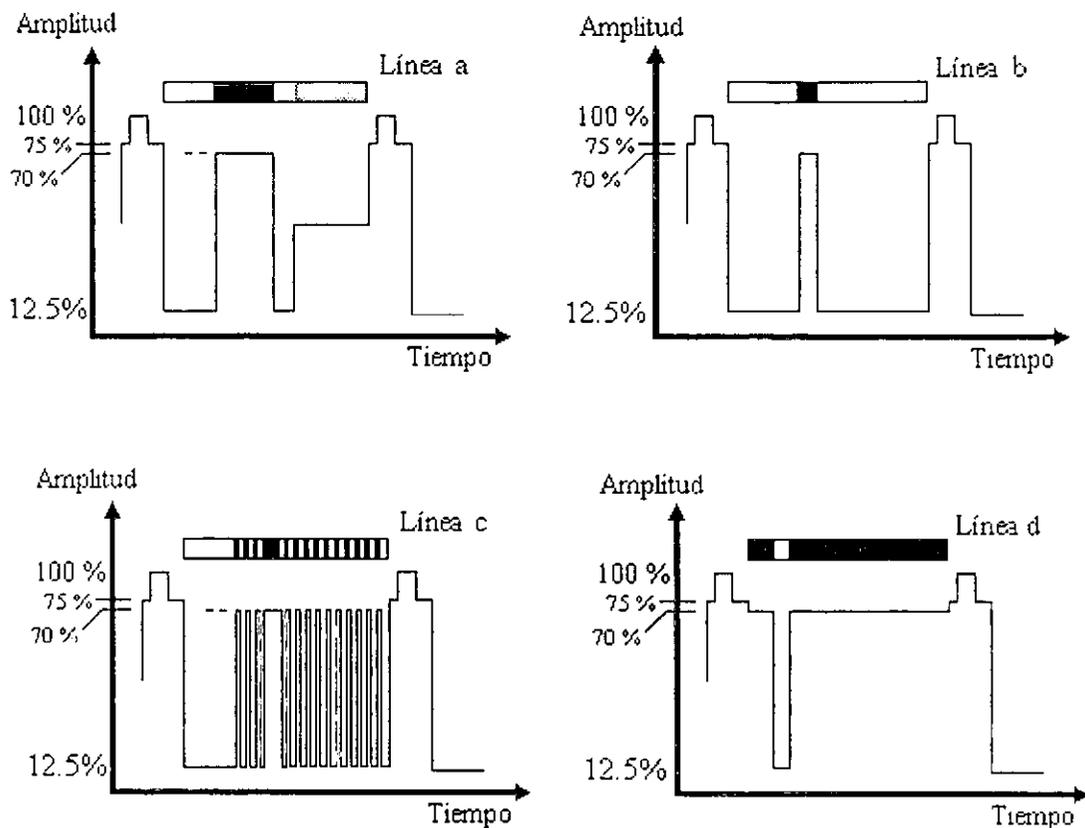


Figura 1.10. Señal de video para las líneas: a, b, c y d.

Analizando algunos aspectos para la frecuencia a la que se pueden generar estas señales, tomaremos como referencia la señal de video para la línea c; esta señal representa un corte a través de las estacas del jardín, los pulsos más finos representan las estacas, entre más finas sean estas señales, mayor será la definición de la imagen transmitida, por lo tanto, si la imagen tiene una altura de 525 líneas y si la proporción de la anchura con respecto a la altura es de 4:3, tendremos entonces  $525(4/3) = 700$  puntos por línea.

Es decir, una imagen con 525 líneas comprenderá  $525(700) = 367,500$  puntos de imagen y si durante un segundo se transmiten 30 cuadros (imágenes completas), tendremos  $367,500 (30) = 11.025$  millones de puntos de imagen por segundo transmitido.

Si esta secuencia de 11 millones de puntos de imagen es de una secuencia de blancos y negros, también variará de un modo alternativo la corriente en la señal de las líneas, teniéndose entonces una frecuencia de 4.2 MHz. Para fines prácticos, además de que es una norma, tendremos una frecuencia máxima de 4 MHz. En la Fig.1.11 se muestra el espectro de la portadora de una señal de video, según la referencia [3]:

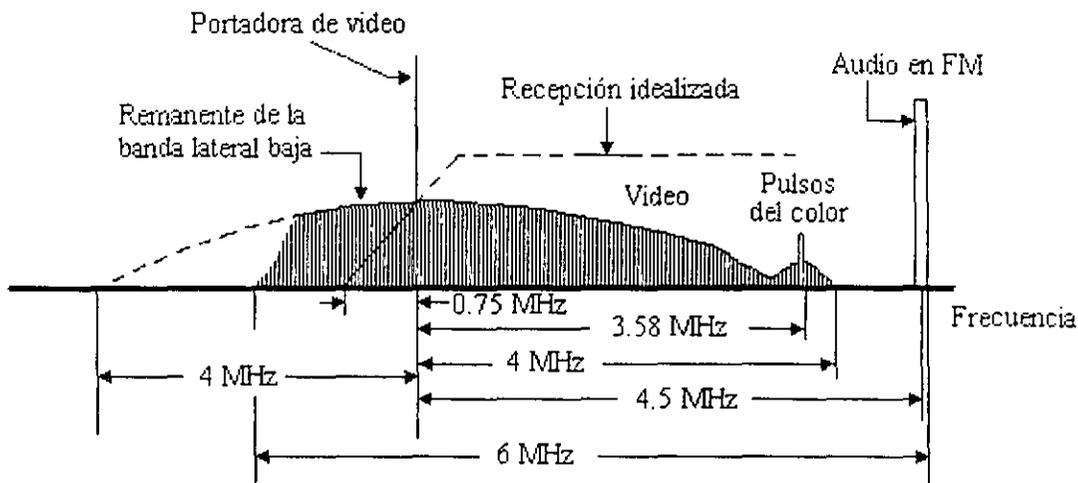


Figura 1.11. Espectro en frecuencia de la señal de video y la señal de audio.

A la banda de frecuencias de 4 MHz, que contiene toda la información de imagen se le denomina *banda de video-frecuencia*, en forma abreviada *señal de video*.

## 1.2.- Análisis de la modulación en amplitud modulada, frecuencia modulada y fase modulada.

Haciendo una breve descripción de las diferentes formas de modulación considerando los caminos en que es posible utilizar una señal de *RF* para transmitir información es la siguiente.

Un oscilador de *RF* entrega una salida que se puede expresar como:

$$f_c(t) = A_c \cos(\omega_c t + \theta_c) \quad (1)$$

donde el subíndice  $c$  se asigna a todas las cantidades para indicar que estamos tratando de una onda portadora (carrier wave), siendo éste el término que normalmente se aplica a la onda de  $RF$  portadora sin modular. Los otros símbolos se definen como sigue:

$A_c$  es la amplitud de la portadora.

$\omega_c$  es la frecuencia angular de la portadora (se expresa en radianes por segundo y es igual a  $2\pi$  veces la frecuencia en Hz).

$\theta_c$  es el ángulo de fase de la onda portadora para  $t = 0$ .

Si las tres cantidades que especifican a la onda portadora, permanecen inalteradas, entonces no hay comunicación de información. Para que la haya se requiere que una o más de estas cantidades varía con el tiempo en alguna forma con relación a la señal de la banda base a comunicar. Hay por tanto, tres obvias posibilidades:

- a).- La amplitud de la portadora se hace variar de acuerdo con la señal de la banda base.
- b).- La frecuencia de portadora se hace variar de acuerdo con la señal de la banda base.
- c).- La fase de la portadora se hace variar de acuerdo con la señal de banda base.

Estas tres posibilidades se conocen como modulación de amplitud (AM), modulación de frecuencia (FM) y modulación de fase (PM). Las últimas dos en conjunto se les conoce como modulación angular.

### 1.2.1.- Modulación en amplitud.

En AM, se genera una señal portadora a una frecuencia constante, el valor de la amplitud varía y toma la forma de una señal de información, como se muestra en la Fig.1.12:

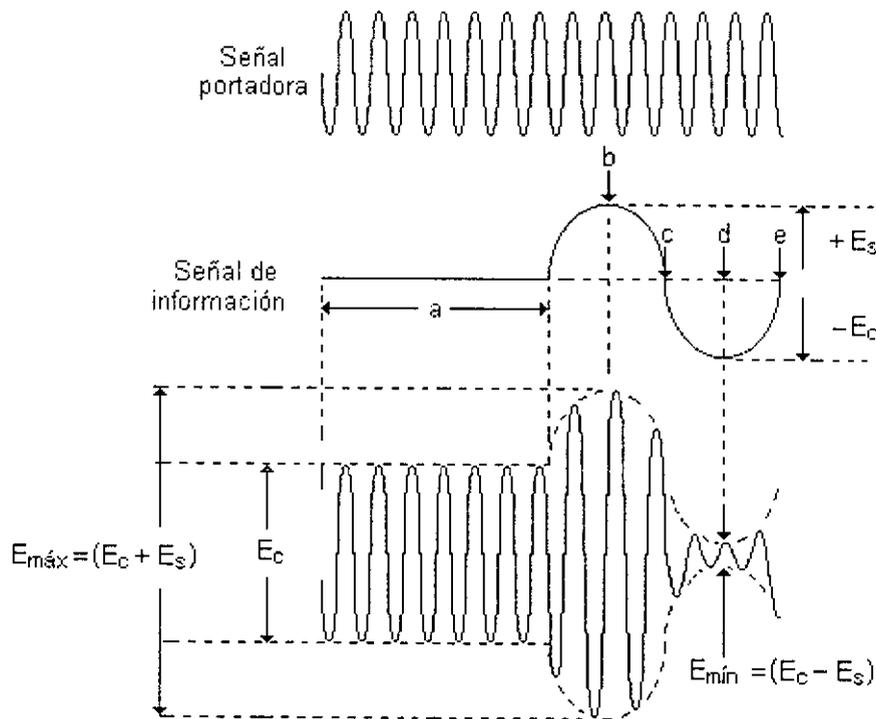


Figura 1.12. Señal portadora, señal de información y señal de información modulada en AM.

Vemos que durante el instante (a), la señal de mensaje tiene amplitud nula y la onda de la portadora tiene la amplitud  $E_c$ . En el instante (b) la señal de mensaje es positiva, con un valor de  $+E_s$ , y la amplitud de la portadora se ha incrementado a  $E_c + E_s$ . En el instante (c) la señal de mensaje atraviesa por cero, y la amplitud de la portadora regresa a un nivel igual a  $E_c$ . En el instante (d) la señal de mensaje está a su

La señal de banda base se utiliza para modular la portadora que está dada por la función de tiempo  $f_m(t)$ . Será conveniente referirse a ésta como la señal de modulación y ésta es la razón para la elección del subíndice  $m$ . La forma más simple de onda modulada en amplitud será, por lo tanto,

$$f(t) = Kf_m(t)\cos(\omega_c t + \theta_c)$$

Esta ecuación introduce varios inconvenientes, para solventarlos haremos los siguientes arreglos:

- Introduciremos la constante  $K$  para asegurar una amplitud siempre positiva
- Haremos un cambio de origen para eliminar  $\theta_c$

Por lo tanto tendremos

$$f(t) = ( A_c + K f_m(t) ) \cos(\omega_c t)$$

en la que  $A_c \geq K f_m(t)$  para todos los valores de  $t$ .

En un análisis en frecuencia, la señal modulada tendría la forma que se muestra en la Fig. 1.13:

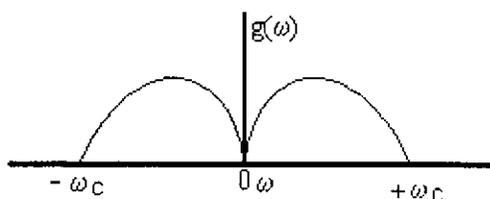


Figura 1.13. Espectro en frecuencia de una señal de AM.

Mientras que la portadora modulada tiene tres componentes: una onda continua en la frecuencia de la portadora, una banda lateral superior con componentes de

frecuencia entre  $\omega_c$  y  $\omega_c + \omega_1$ , y una banda lateral inferior con componentes de frecuencia entre  $\omega_c - \omega_1$  y  $\omega_c$ .

La distribución espectral en la banda lateral inferior es una imagen o espejo, con respecto a la frecuencia de portadora de la distribución espectral de la banda lateral superior, por lo tanto, cada banda lateral contiene una réplica de la señal de modulación y esto sugiere que no es necesario transmitir más que una banda lateral.

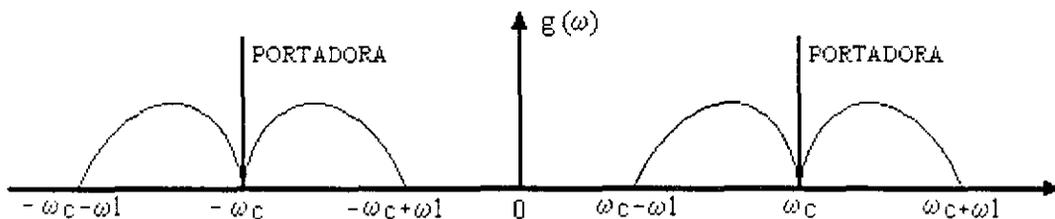


Figura 1.14. Espectro en frecuencia de la señal modulada en AM.

Este caso se llama *modulación de doble banda lateral (DSB)*. Puesto que la portadora en algunos casos no es esencial en el proceso de transmisión, se puede eliminar, resultando el siguiente espectro:

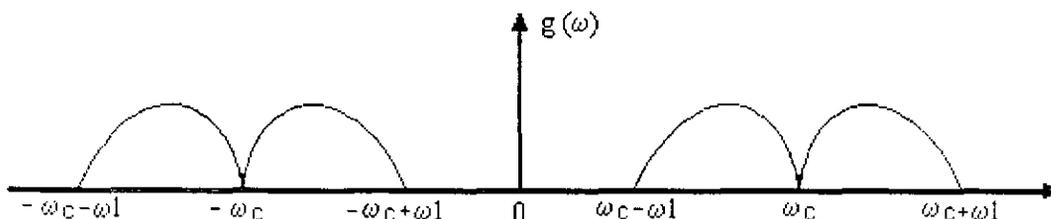


Figura 1.15. Espectro en frecuencia de la señal modulada en AM con portadora suprimida (DSB).

El espectro mostrado es una forma de transmisión de información que se denomina modulación con portadora suprimida. Si se transmite sólo una banda lateral, como se muestra en la Fig. 1.16, se dice que el sistema opera con *modulación de banda lateral única (SSB)*.

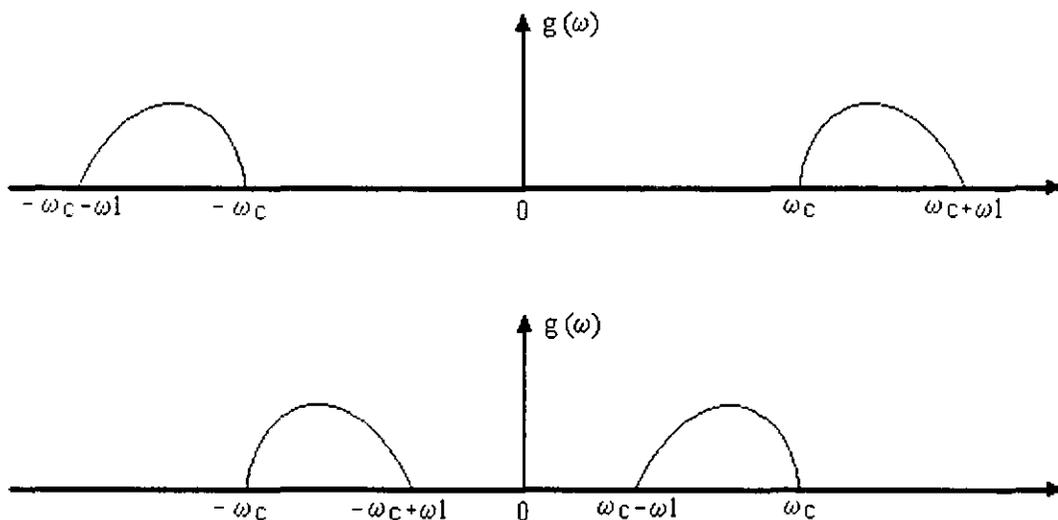


Figura 1.16. Espectro en frecuencia de la señal en AM tipo SSB.

Una ventaja obvia y la de mayor peso es que en el modo de operación en banda lateral única, el ancho de banda requerido en el medio de transmisión es sólo la mitad del que se requiere en un sistema de doble banda lateral.

Por la naturaleza de la modulación en AM, los sistemas que nos permiten esa modulación así como la demodulación son sencillos de implementar. El inconveniente de AM es que presenta una baja inmunidad al ruido, es decir, puede presentar problemas de interferencias por señales ajenas a nuestro sistema de comunicación.

### 1.2.2.- Modulación en frecuencia.

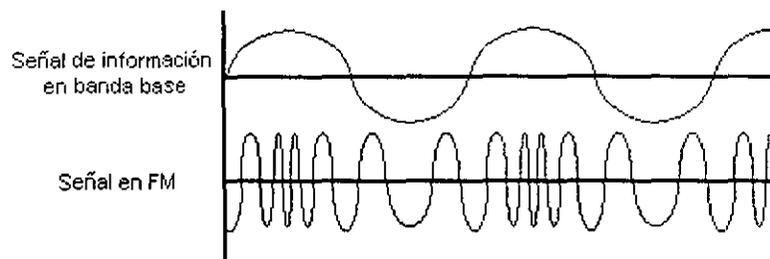
En FM, una señal analógica es representada por una variación lineal de la frecuencia con respecto a una frecuencia central.

En la ecuación donde representamos una señal senoidal de la forma

$$f_c(t) = A_c \cos(\omega_c t + \theta_c) \quad (1)$$

Observamos que para AM, la magnitud de la amplitud  $A_c$  varía conforme a la señal de información a transmitir, mientras que el ángulo  $\omega_c$  y la fase  $\theta_c$  permanecen constantes. Para FM, ahora la magnitud de la amplitud  $A_c$  no cambia, sólo lo hace el ángulo  $\omega_c$  conforme a la señal de información a transmitir.

A continuación, en la Fig.1.17 se muestra la forma de onda de una señal que contiene la información que deseamos transmitir y la forma de onda de la señal de información modulada en FM:



*Figura 1.17. Modulación en frecuencia.*

Dada la naturaleza de la modulación en frecuencia, se tiene un consumo de potencia uniforme, pudiéndose así, tener un mejor cálculo de las corrientes consumidas por el sistema. Este tipo de modulación presenta una alta inmunidad al ruido. Por lo mismo, se requiere de sistemas más complicados para su funcionamiento. Requiere un mayor ancho de banda para transmitir información a comparación a la modulación en amplitud.

### **1.2.3.- Modulación en fase.**

De manera similar a FM, en PM se hace variar sólo el valor de la fase  $\theta_c$ . Dando como resultado una señal modulada de la siguiente forma:

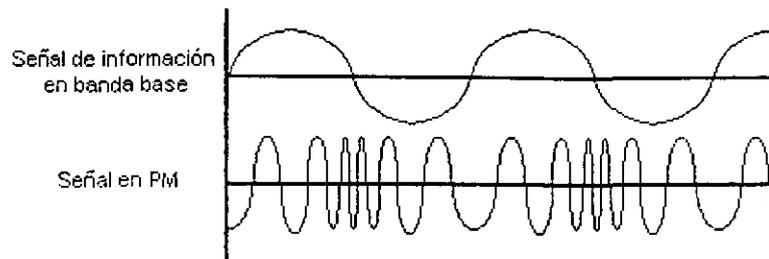


Figura 1.18. Modulación en fase.

Para obtener este resultado en la modulación en fase, primero analicemos la siguiente figura de un modulador en fase tipo Armstrong.

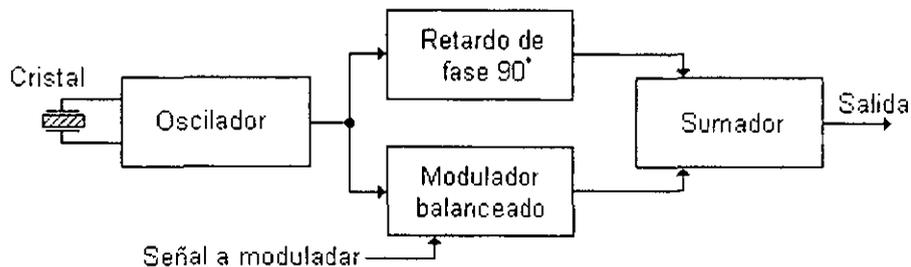


Figura 1.19. Modulador en fase tipo Armstrong.

Un oscilador de cristal genera una señal generalmente senoidal. Esta señal sirve como referencia y se considera que tiene un ángulo de cero grados. Un modulador en amplitud balanceado es utilizado para producir una envolvente de doble banda lateral y suprimir la portadora. Por lo tanto, se requiere de dos entradas: la señal del oscilador de cristal a  $0^\circ$  y la señal a modular que contiene la información. La salida del modulador balanceado es conectada a un circuito sumador; aquí la señal portadora retardada  $90^\circ$  es adicionada a la señal con la portadora suprimida. El hecho de retardar la portadora por  $90^\circ$  no cambia la frecuencia de la portadora o su forma de onda, según la referencia [6].

El caso de la modulación en fase, también se le conoce como modulación en FM indirecta; ya que tanto los valores de la frecuencia  $\omega_c$  y la fase  $\theta_c$  son argumentos que

afectan a final de cuentas el valor del ángulo en la ecuación senoidal que representa a nuestra señal transmitida.

#### **1.2.4.- Comparación AM y FM.**

Debemos mencionar que el éxito de las técnicas de modulación se debe primordialmente al valor del cociente señal/ruido SNR (signal-to-noise ratio). Esto significa que se puede comunicar o transmitir cualquier señal si nuestra señal es lo suficientemente potente para vencer el ruido circundante del medio ambiente.

A veces, este ruido gana. Existe ruido en cualquier rango de frecuencias en la que se trabaje. Por lo que podemos concluir que:

1. En ambos sistemas (AM y FM), una onda portadora es modulada por una señal para producir una portadora y dos bandas laterales. La técnica puede ser aplicada a varios sistemas de comunicación tales como telegrafía, telefonía, video, etc.
2. Ambos sistemas usan receptores basados en el principio de superheterodinación.
3. Técnicas especializadas en receptores en AM, tales como AGC, pueden ser aplicadas a receptores de FM.

#### **1.2.5.- Contrastes de AM y FM.**

1. En AM, la amplitud de la portadora varía mientras que en FM, la frecuencia de la portadora es la que varía.
2. La modulación en AM produce dos bandas laterales y es un sistema de banda estrecha. FM produce un grupo de bandas laterales y es un sistema que puede ser de banda angosta o de banda ancha.
3. FM produce una mejor inmunidad al ruido que AM bajo condiciones de trabajo similares.

4. Los sistemas en FM son usualmente mucho más sofisticados y caros que los sistemas en AM.

#### **1.2.6.- Transmisores.**

Los moduladores de AM y FM son por lo tanto, esencialmente diferentes en el diseño. Más aún, FM se puede producir directamente por una modulación de la frecuencia o indirectamente por una modulación de la fase. Sin embargo, la portadora de FM tiene que ser alta y es usualmente en bandas de VHF donde se le utiliza, esto debido a que se requiere una gran banda ancha la cual no es posible en las congestionadas bandas a bajas frecuencias.

Como datos adicionales tenemos que la longitud de onda para la banda de media frecuencia (MF) es de 160 metros (1.8 – 2.0 MHz), después, la banda de alta frecuencia (HF) o banda de onda corta, con una longitud de 80 a 10 metros (en un rango de 3.5 –29.7 MHz). La siguiente es la banda VHF con 6 a 1.25 metros (50 – 225 MHz). Más arriba tenemos la banda UHF de 70 a 23 cm (420- 2450 MHz). Después les siguen las bandas SHF (Super Alta Frecuencia), EHF (Extremadamente Alta Frecuencia), para la cual nos referiremos como microondas, las cuales tienen una frecuencia del orden de los 2.9 a 250 GHz.

#### **1.2.7.- Receptores:**

Aunque los receptores de AM y FM son básicamente los mismos, un receptor de FM usa un limitador y un discriminador (o un detector de radio) para remover variaciones de AM y convertir cambios en la frecuencia en variaciones en la amplitud. Por consiguiente, los receptores de FM deben de tener una más alta ganancia que los receptores de AM en el aspecto de operar el discriminador efectivamente. Finalmente, los receptores de FM proporcionan una alta fidelidad, debido a la gran banda ancha que manejan por arriba de los 15 kHz comparado con los 8 kHz de los receptores de AM.

Para resumir, las características de una señal típica para TV, consta de dos señales o estaciones independientes una de otra: una de sonido modulada en frecuencia, y otra de video modulada en amplitud. La estación de sonido en FM contiene sólo el sonido que acompaña a la imagen de TV. La señal en AM de la imagen consiste de las siguientes características:

- Información del brillo, bit por bit.
- Barrido de la imagen, cuadro completo.
- Información de la localización de los bits de la imagen en forma de inicio y fin de cada línea y campo.
- Señales de sincronía, las cuales aseguran exactamente la misma línea de campo.

Por las razones anteriores, se decidió utilizar un sistema de modulación del video que trabaje en AM, basándose en las características de tal modulación mencionadas con anterioridad. Además, se considera la modulación en AM, ya que la distancia entre transmisor y receptor será sólo de algunos metros.

La transmisión de banda base de video puro, requiere de una excelente respuesta en frecuencia, en particular desde DC hasta 15 kHz, y extendiéndose hasta 4.2 MHz. La ecualización es extremadamente importante. Muy pocos circuitos de transmisión punto a punto lo hacen en banda base, porque los transformadores para el acoplamiento de la línea deterioran la respuesta a varias frecuencias y hacen la ecualización en fase muy difícil.

Sin embargo, si se transmite video en banda base puro se debe tener cuidado en conservar sus componentes de DC.

Los niveles estándar de potencia han sido desarrollados para un nivel de un receptor ordinario de televisión para tener una imagen libre de ruido. Esto es, 1.5 mV para  $75\Omega$  como referencia. Estos niveles son para televisión y están dados en dBmV. Para *RF* y los sistemas de portadoras de video, las mediciones se refieren a voltaje

RMS. Para video puro este es de 0.707 de nivel de pico de voltaje el cual es usualmente obtenido de los picos de sincronización.

La relación señal ruido, para transmisión de video, se expresa normalmente como:

$$\text{SNR} = \text{señal pico dBmV} / \text{ruido RMS dBmV}$$

Los promedios de la imagen para un ancho de banda de 4 MHz referidos a la relación S/N se muestran a continuación:

<b>Calidad de imagen</b>	<b>SNR</b>
Excelente (nieve no perceptible)	45 dB
Fino (nieve apenas perceptible)	35 dB
Aceptable (nieve perceptible pero no molesta)	29 dB
Marginal (nieve algo molesta)	25 dB

# Capítulo 2. Técnicas de modulación de datos digitales.

El capítulo presenta las características básicas de las modulaciones para datos digitales: OOK, ASK y FSK. Adicionalmente se realiza un análisis de desempeño en presencia de una señal de interferencia, para finalmente comentar algunas de las aplicaciones en las que se utilizan estas técnicas de modulación.

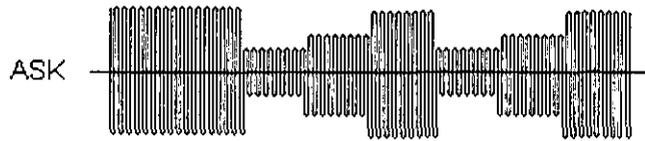
## 2.1.- Descripción de los métodos de modulación para la transmisión de datos digitales: OOK, ASK, FSK y PSK.

Existen básicamente tres métodos de modulación digital; AM, FM y PM, se les conoce por *Modulación en Amplitud por Llaveo ASK* (amplitude-shift keying), *Modulación en Frecuencia por Llaveo FSK* (frequency-shift keying) y *Modulación en Fase por Llaveo PSK* (phase-shift keying) respectivamente, según la referencia [3]. Para un mayor detalle de las formas básicas de modulación, consultar el Capítulo 1.

### 2.1.1.- Modulación ASK y OOK (OOSK).

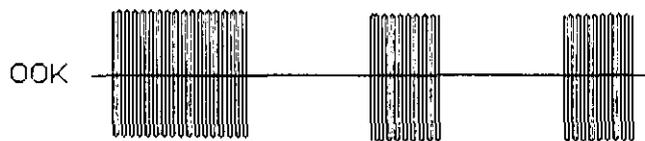
Para el caso de la modulación de datos digitales en AM, la modulación se convierte en la modulación ASK, que significa corrimiento de la amplitud por llaveo (Amplitude-Shift Keying).

La amplitud de una portadora de alta frecuencia es conmutada entre dos o más valores en respuesta a un código de información, tal y como se muestra a continuación en la Fig.2.1, en donde la señal portadora puede presentar  $n$  valores en amplitud:



*Figura 2.1. Señal ASK con la portadora en diversos valores en amplitud.*

Para el caso de codificación de información binaria, la elección usual es la modulación llamada de llaveo por encendido-apagado, abreviada OOK (on-off keying) o OOSK (on-off shift keying). La forma de onda resultante es una modulación en amplitud que consiste en pulsos de *RF*, llamadas marcas, que representan un 1 lógico y los espacios representan un 0 lógico. La forma de onda resultante de dicha modulación se muestran en la Fig.2.2:



*Figura 2.2. Representación de una señal típica en OOK.*

Una característica distintiva entre ASK y OOK, además de los dos únicos valores binarios que puede adoptar la modulación OOK, es que para el caso del cero lógico en OOK, la portadora es nula; es decir, cuando se presenta un cero lógico, la portadora no existe y por lo tanto el dispositivo modulador no emite ninguna señal. En cambio, para ASK el cero lógico se le representa con una portadora muy pequeña.

### **2.1.2.- Modulación FSK :**

La modulación FSK es una forma de FM simplificada. En FSK, la frecuencia de la portadora varía dependiendo del código a transmitir. Cada valor del código tiene un equivalente en frecuencia; pudiéndose así también transmitir cualquier código digital o analógico. Para el caso particular de códigos digitales binarios, se muestra la forma de onda en la Fig.2.3 para un código tipo PCM:

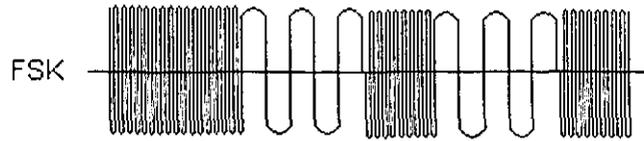


Figura 2.3. Forma típica de una señal modulada en FSK.

El espectro en frecuencia mostraría una imagen como la siguiente:

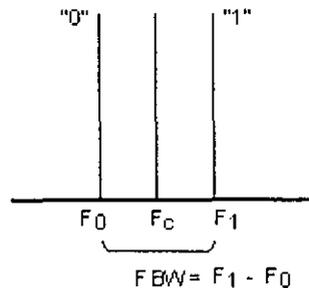


Figura 2.4. Aspecto del espectro en frecuencia de una señal modulada en FSK.

En FSK, la portadora siempre está presente, lo cual aporta muchos beneficios en comparación a OOK, por ejemplo:

- La portadora mantiene la carga en el receptor todo el tiempo, proporcionando una gran inmunidad al ruido.
- La potencia o amplitud de la portadora puede ser usada para calcular la señal a transmitir.

Un análisis minucioso muestra que podemos considerar la forma de onda FSK como una onda compuesta de dos ondas del tipo ASK pero con la frecuencia de las portadoras distintas. Tal y como se muestra en la Fig.2.5.

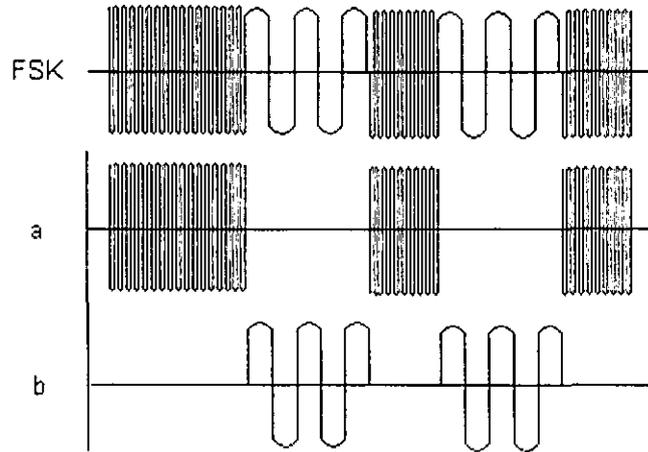


Figura 2.5. Onda FSK idealizada, a y b, descomposición en dos ondas ASK.

## 2.2.- Comparación de sistemas de modulación digital.

La probabilidad de error neto en el desempeño de sistemas ASK, FSK y PSK se muestran en la Fig.2.6 según la referencia [3] :

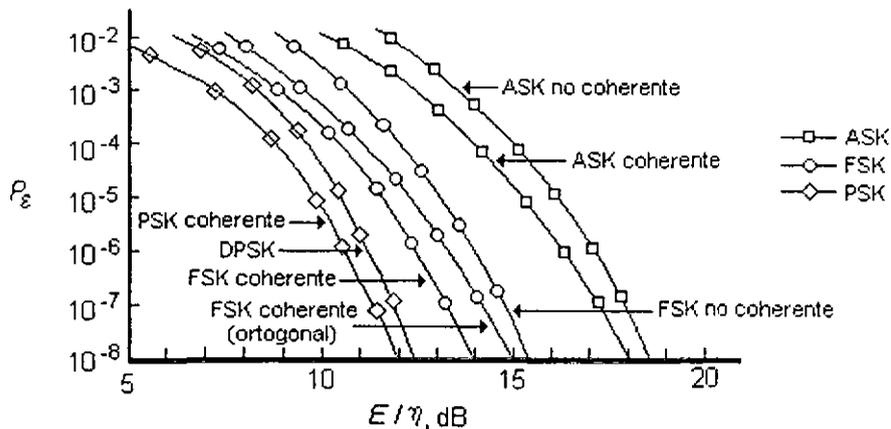


Figura 2.6. Probabilidades de error para sistemas de modulación digital binaria.

Estos resultados están graficados contra la energía de un bit  $E$  dividido por  $\eta$ , la densidad espectral de la potencia del ruido. En otras palabras, nos dice que para tener una  $P_e$  (probabilidad de error) menor, debemos aumentar la potencia de transmisión de los datos  $E$ , y al mismo tiempo  $\eta$  (densidad espectral del ruido) será menor. Si la comparación fuera hecha en términos de los requerimientos del promedio de potencia,

entonces el esquema de la modulación ASK podría desplazarse a la izquierda en 3 dB y podría requerir la misma cantidad de potencia como el esquema para FSK.

En la gráfica se observa que las señales moduladas en PSK coherente, requieren la menor cantidad de potencia, que cualquier otro método de modulación digital binaria. La siguiente en menor consumo de potencia es la modulación DPSK, seguida por la FSK coherente, la FSK no coherente, la ASK coherente y la ASK no coherente. Cabe señalar que diferencias entre algunas curvas son de sólo 1 ó 2 dB, sobresaliendo que, en los rangos de interés práctico, un cambio en la potencia de la señal de 1 dB podría resultar en un cambio igualmente proporcional en orden de magnitud en la probabilidad de error  $P_e$ .

Los transmisores de ASK son muy fáciles de construir y tienen la ventaja de que no consumen potencia, sino hasta que algún dato es transmitido (esto si se utiliza modulación OOK). Estos sistemas encuentran su uso en aplicaciones de telemetría de corto alcance. Los receptores de ASK coherente resultan relativamente sencillos de construir. La diferencia en el desempeño entre la detección coherente y no coherente es mínima comparada con el incremento de complejidad requerida para la detección coherente en OOK, por lo tanto, ésta generalmente no se utiliza. Una desventaja de la modulación ASK es el umbral de detección en el receptor, éste debe ser ajustado dependiendo de los cambios en los niveles de la señal recibida. Estos ajustes son normalmente hechos con un control automático de ganancia.

Los sistemas con modulación FSK, en contraste con los de ASK, operan de manera simétrica sobre el ajuste del umbral sin considerar la potencia de la señal portadora. Además de un posible incremento en los requerimientos de estabilidad de la frecuencia, existe una pequeña diferencia en la complejidad en los transmisores de FSK y PSK, sobre todo para ASK. La complejidad de los receptores depende primordialmente si se usa modulación coherente o no coherente. FSK no coherente es relativamente fácil de implementar y resulta ser una opción muy popular para niveles de

baja a media velocidad de transmisión de datos, tales como telemetría. Las transmisiones en FSK no coherente requieren un mayor ancho de banda, para la misma cantidad de datos, en comparación con la modulación ASK y PSK.

La Fig.2.6 nos muestra que la modulación PSK resulta ser superior a ASK y FSK, PSK requiere una menor potencia para transmitir en comparación a la probabilidad de error. Sin embargo, se requiere de una detección síncrona, y los sistemas para recobrar la portadora son complicados y por lo tanto, más caros de construir. Los sistemas con modulación DPSK requieren frecuentemente de un compromiso en sacrificar el desempeño en cuanto a la cantidad de errores permitidos conforme disminuye la complejidad de su implementación en sus receptores. Los sistemas más ampliamente utilizados para la modulación de datos digitales son PSK, DPSK y FSK no coherente.

Ninguno de los métodos de modulación digital mencionados, es particularmente eficiente en términos de aprovechar el ancho de banda. Si bien, hemos discutido estos temas con detalle, notamos aquí, que un método que no hemos mencionado para la modulación digital, son tales como VSB (Vestigial Side Band) utilizado para modular las señales de video comercial. Y en donde se aprovecha al máximo el ancho de banda proporcionado por el modulador.

La decisión final de cuál modulación digital utilizar, dependerá del compromiso a tomar entre desempeño, costo, ancho de banda, etc. Además, distorsiones en propagación, distorsiones por retardos, balance, ruido de fondo o ruido blanco, ruido gaussiano, interferencias, etc.

### **2.3.- Modulación OOK, ASK y FSK en presencia de una señal de interferencia.**

Para nuestro propósito de discusión, la modulación OOK es un caso especial de la modulación ASK, donde la portadora toma valores binarios y no está presente cuando codifica un cero lógico. La modulación FSK es preferida por su mejor desempeño en

presencia de ruido que puede producir interferencia en la recepción. Sin embargo, es usualmente más complicada y cara de implementar. A continuación, se revisarán estos tres tipos de modulación y se desarrollará un modelo matemático para la predicción del ruido debido a la interferencia. Cabe señalar que estos experimentos son realizados en condiciones de laboratorio.

La modulación OOK es una modulación muy popular usada en aplicaciones de control, según la referencia [26]. Esto es en parte, por su sencillez y bajo costo de implementación. La modulación OOK tiene la ventaja de que cuando transmite un cero lógico, simplemente no produce ninguna portadora, por lo tanto, ahorra potencia. La desventaja de la modulación OOK estriba en la presencia de señales indeseadas. Tan pronto como proliferó el uso del control y transmisión de datos en diversos aparatos, se agravó por lo tanto el problema de comunicación. Los tres tipos de modulación pueden ser representados en una gráfica de dos dimensiones ortogonales, a veces llamado *Diagrama de Señales*. Consideremos un par de vectores bases  $\varphi_1$  y  $\varphi_2$ . El diagrama de señales para la modulación OOK, ASK y FSK se muestran en las Figs. 2.7, 2.8 y 2.9 respectivamente. Cada diagrama representa el ruido adicional con un círculo punteado alrededor de la señal.

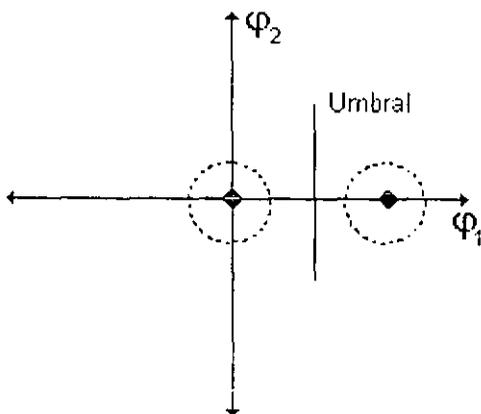


Figura 2.7 Señal OOK.

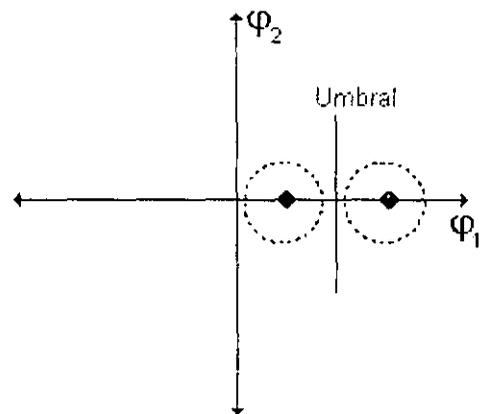


Figura 2.8 Señal ASK.

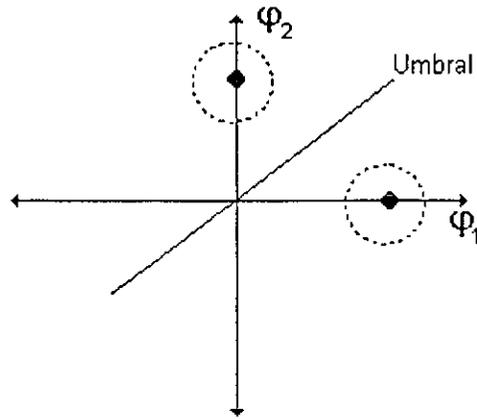


Figura 2.9 Señal FSK.

Se observa en estos diagramas que el nivel de umbral es crítico para el desempeño del receptor. Los receptores para OOK como ASK, requieren un control automático de ganancia (AGC) o un control ajustable para el nivel del umbral para asegurar un desempeño óptimo. La modulación FSK usualmente no requiere de esto, ya que incorpora un limitador que mantiene a la amplitud de la señal envolvente en un valor constante sobre un rango dinámico. Los receptores ASK y OOK usados para este experimento emplean un amplificador detector logarítmico como se muestra en la Fig.2.10.

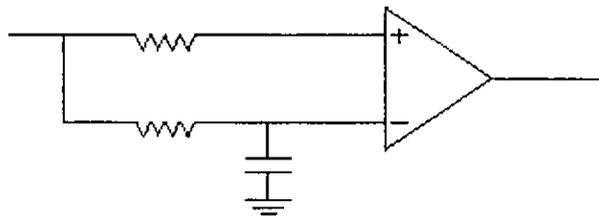


Figura 2.10. Amplificador logarítmico.

Este circuito garantiza que el umbral estará entre los niveles de transmisión de un "0" y un "1". El circuito mostrado trabajará bien siempre y cuando el dato recibido sea del tipo D.C. balanceado.

### 2.3.1.- Probabilidad de error para la modulación OOK y FSK.

Existe una gran cantidad de bibliografía disponible donde se discute la probabilidad de error para cada uno de los tipos de modulación. En el caso de modulación OOK, la densidad de probabilidad de la envolvente, cuando la señal no está presente, es la distribución Rayleigh, según la referencia [26]. Cuando una señal está presente, la densidad es Rician. El total de la probabilidad de error es determinada por dos condiciones de error posible. La probabilidad de un "1" sea enviado y que el receptor por equivocación lo tome como un "0" (un fallo) y la probabilidad de un "0" sea enviado y el receptor detecte un "1" (falsa alarma). La probabilidad de error total está definida por la fórmula:

$$P_e = \frac{1}{2} \int_0^{V_t} p1(r) dr + \frac{1}{2} \int_{V_t}^{\infty} p0(r) dr \quad \text{Ec.2.1.}$$

La variable  $V_t$  es el umbral donde las dos funciones de densidad de probabilidad se intersectan. La función  $P1$  y  $P0$  son la densidad de probabilidad Rician y la función de densidad Rayleigh respectivamente. La variable  $r$  es una variable aleatoria de la salida del detector de la envolvente. Se asume que la probabilidad de que un "1" o un "0" sea transmitido es 0.5. La evaluación de la fórmula de arriba produce una aproximación de la probabilidad del error para la modulación OOK usando la detección de la envolvente:

$$P_{e \text{ ask}}_{SNR} = \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{\frac{1}{\pi \text{ SNR}}} \right) \exp \left( -\frac{\text{SNR}}{4} \right) \quad \text{Ec.2.2.}$$

La expresión **SNR** en la fórmula de arriba, está definida como un cociente entre la señal y el ruido (Signal-Noise Ratio). De la misma forma, la probabilidad de error puede ser calculada para un sistema receptor usando modulación FSK no coherente. El

sistema es modelado con dos filtros centrados en  $f_1$  y  $f_2$  con un detector de envolvente sumados a un circuito comparador. La siguiente expresión produce la probabilidad de error para la modulación FSK no coherente.

$$P_{\epsilon}^{\text{fsk}}_{\text{SNR}} = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{\text{SNR}}{4}\right) \quad \text{Ec.2.3.}$$

La gráfica de abajo muestra ambas funciones graficadas juntas. La conclusión es que existe muy poca diferencia en la probabilidad de error entre la modulación OOK y la modulación FSK no coherente.

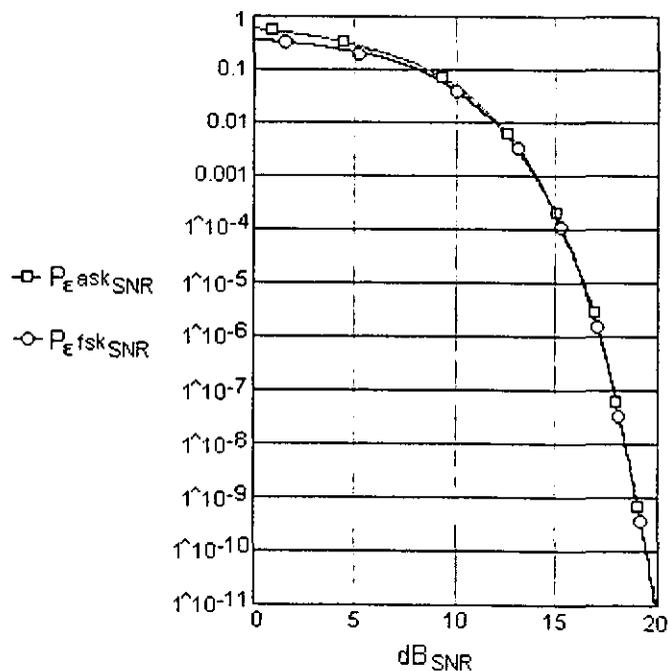


Figura 2.11. Comparación entre la modulación OOK y FSK.

### 2.3.2.- Probabilidad de error para OOK con una señal de interferencia.

Para propósitos de simplificar, la distribución Gaussiana puede ser usada para desarrollar los modelos que siguen. La distribución Gaussiana es un modelo correcto para métodos de detección coherente. La detección coherente ofrece aproximadamente 1 dB de mejoría sobre los métodos de detección no coherente con una razonable relación señal/ruido. La Fig.2.12 ilustra la modulación OOK en presencia de una señal de interferencia.

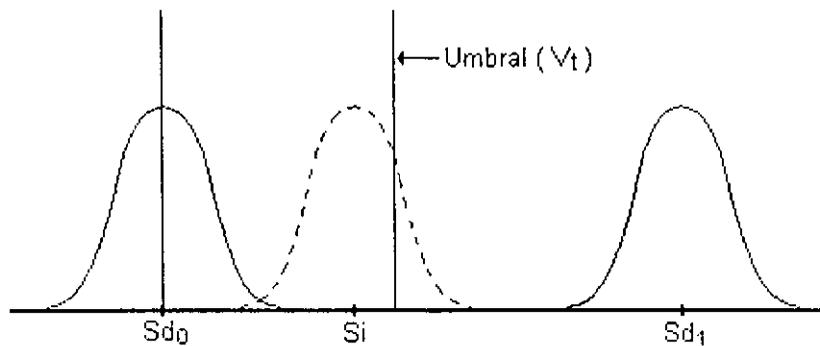


Figura 2.12. Bandas de la modulación OOK y la señal de interferencia.

$S_{d0}$  y  $S_{d1}$  son las distribuciones de probabilidad de la señal original para cuando un "0" y un "1" sean transmitidos, respectivamente.  $S_i$  es la distribución de la probabilidad de una señal de interferencia. Podemos asumir que la probabilidad de un "1" sea transmitido, para ambas, la señal original y la señal de interferencia, es 0.5 y que la señal original es independiente de la señal de interferencia. Esto significa que el método de detección usado es el detector de envolvente, lo cual implica que la señal más grande en cualquier instante es comparada con el nivel del umbral. El error posible y la probabilidad de que una condición ocurra, se muestran en la siguiente tabla:

Condición	Transmitido	Probabilidad de error de recepción
$S_d = "1"; S_i = "0" \text{ ó } "1"$	0.5	Elección de recepción es "0"(fallo)
$S_d = "0"; S_i = "0"$	0.25	Elección de recepción es "1"(falsa alarma)
$S_d = "0"; S_i = "1"$	0.25	Elección de recepción es "1"(bloqueo)

El modelo que se desarrollará deberá hacer referencia al nivel de la señal de interferencia. La función de densidad Gaussiana para que un "1" sea transmitido con un nivel de señal de  $Sd_1$  y una varianza  $\sigma^2$  es:

$$P_{sd1} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta^2}} \exp\left\{-\frac{(V_t - Sd_1)^2}{2\delta^2}\right\} \quad \text{Ec.2.4.}$$

A fin de permitir el uso de las tablas de referencias estándar, la función de abajo puede ser normalizada con un valor de cero y una varianza unitaria.

$$P(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{z^2}{2}\right\} \quad \text{Ec.2.5.}$$

La integral de abajo determina la probabilidad que una variable aleatoria  $z$ , con un valor arbitrario  $Sd_1$  y varianza  $\sigma^2$ , es menor que el umbral ( $V_t$ ):

$$P_{\text{fallo}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{V_t - Sd_1}{\delta}} \exp\left\{-\frac{z^2}{2}\right\} dz \quad \text{Ec.2.6.}$$

La expresión de arriba define la probabilidad de un fallo. El transmisor transmitió un "1" y el receptor lo declaró como un "0". La variable  $V_t$ , que representa el umbral, a sido previamente ajustado entre los niveles del "1" y "0", o a la mitad de  $Sd_1$ . Las variables  $\sigma^2$ , y  $Sd_1^2$  es igual al promedio de la potencia del ruido y la potencia de la señal original cuando un "1" es transmitido, respectivamente. De manera análoga, las funciones de probabilidad pueden ser escritas para el caso cuando la señal original es un "0" y el receptor declara un "1" (Fallo) :

$$P_{fa} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{V_t}{\delta}}^{\infty} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \quad \text{Ec.2.7.}$$

y para el caso cuando una señal de interferencia bloquea al receptor,

$$P_{jam} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{V_t - S_{i1}}{\delta}}^{\infty} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \quad \text{Ec.2.8.}$$

La probabilidad de error total puede ser establecida, usando la Tabla 1 y la Ec.2.8 como sigue:

$$P_{error} = 0.5 P_{omisión} + 0.25 P_{fallo} + 0.25 P_{bloqueo} \quad \text{Ec.2.9.}$$

La figura siguiente muestra la gráfica de la Ec.2.9. para la señal original teniendo una relación señal/ruido de 10, 15, y 20 dB. El eje X indica la diferencia entre el nivel de la señal original y el nivel de la señal de interferencia en dB. Esta gráfica muestra cómo una señal de interferencia afecta la probabilidad de error para una transmisión en OOK. Cuando el nivel de la señal de interferencia se acerca a 20 dB debajo del nivel de la señal original, pueden notarse que pequeños cambios afectan la probabilidad de error. La probabilidad de error entonces asume un valor como si la señal de interferencia no estuviera presente.

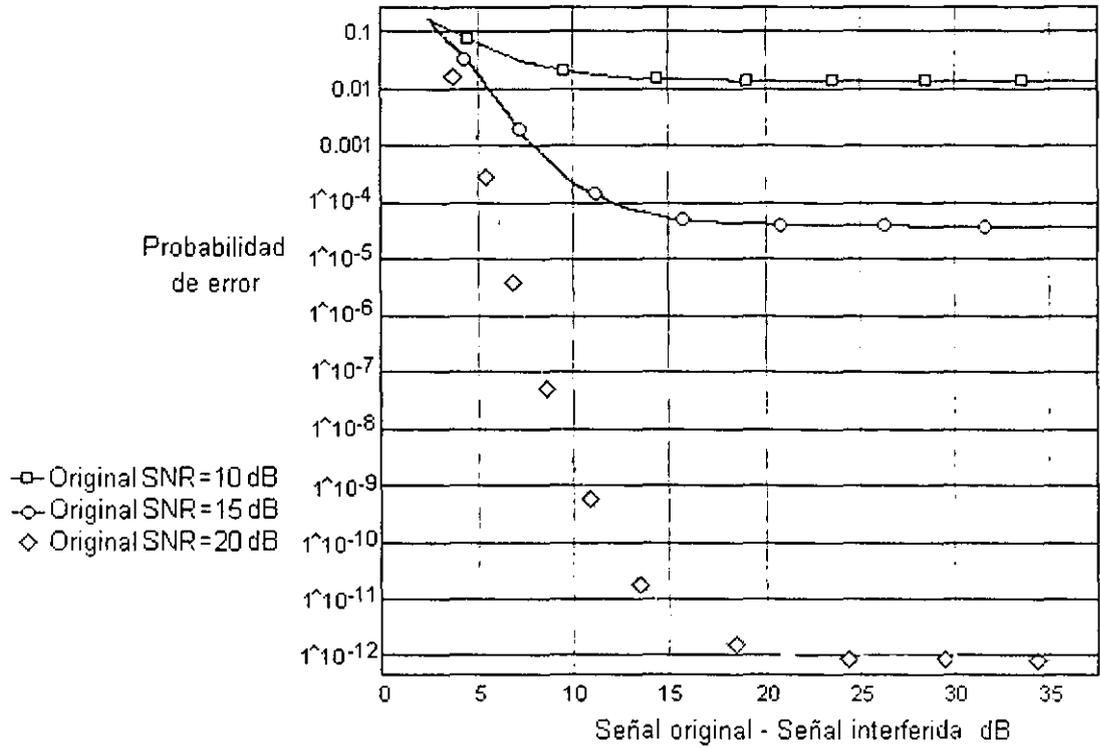


Figura 2.13. Probabilidad de error de una señal modulada en OOK y la señal de interferencia.

### 2.3.3.- Probabilidad de error para ASK

Un análisis similar puede realizarse para el caso de la modulación ASK. La Fig.2.14 ilustra la modulación ASK en presencia de una señal de interferencia.

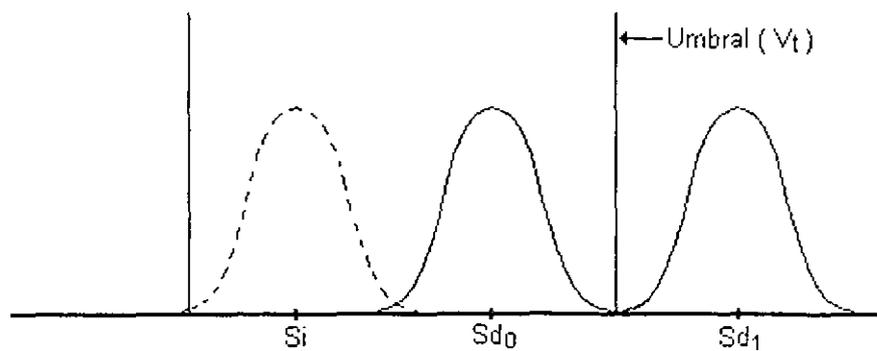


Figura 2.14. Bandas de la modulación ASK y la señal de interferencia.

La primer diferencia entre la modulación OOK (vista en la sección 2.3) y la modulación ASK, es que la modulación ASK permite que la portadora esté presente para las transmisiones de un "0" y un "1". La portadora, durante la transmisión de un "0", es reducida en amplitud pero no es totalmente eliminada como en la modulación OOK. La cantidad de la reducción de la portadora es expresada como un nivel relativo referenciado a un nivel máximo cuando un "1" es transmitido, usualmente en unidades de dB. Mucho de lo desarrollado anteriormente para la evaluación de la probabilidad de error para la modulación OOK se aplica directamente a la modulación ASK. La gráfica de la Fig.2.15. muestra la probabilidad de error para una transmisión modulada en ASK sin interferencia en la portadora ("1" a "0") diferencias de 4.77, 8.4 y 16 dB. Estas trazas indican que con la relación señal/ruido, la probabilidad de error mejora cuando la amplitud de la portadora delta es incrementada entre los estados "1" y "0". Esto es debido, a la diferencia entre los dos niveles ("0" y "1") es más fácil para el receptor distinguir entre los dos niveles.

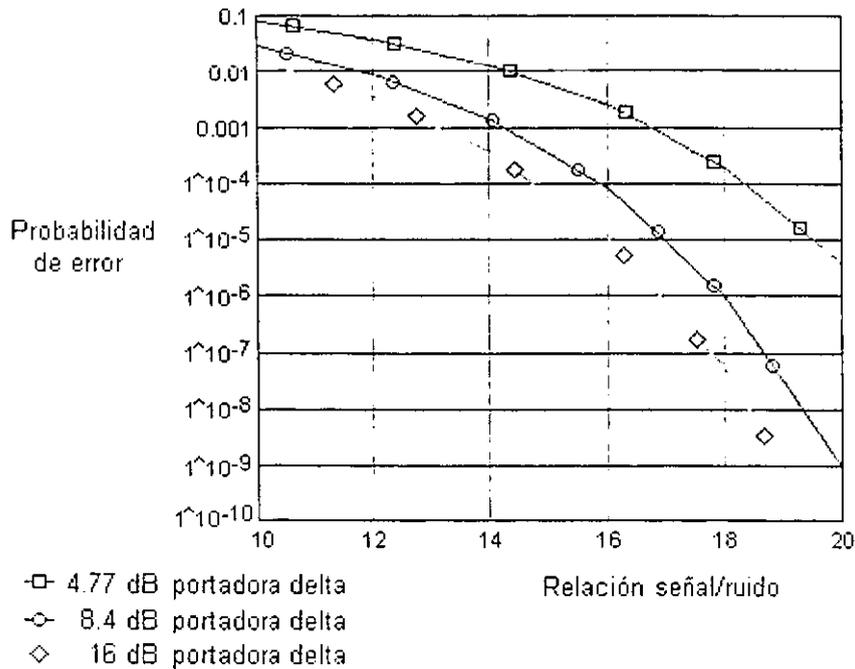


Figura 2.15. Probabilidad de error de una señal modulada en ASK y la señal de interferencia.

### 2.3.4.- Probabilidad de error en ASK con una señal de interferencia.

La tabla 2, resume las condiciones de probabilidad de error que existen para una señal modulada en ASK en presencia de una señal de interferencia. Es importante recordar que el detector es un detector de envolvente. Por lo tanto, el circuito comparador observa el evento más significativo en cualquier instante, ya sea que la señal es la interferencia o la señal original. Como previamente se estableció, la señal de interferencia y la señal original son independientes y la probabilidad de que cada una transmita un "1" o un "0" son iguales. Esto es sólo si asumimos que la señal de interferencia está modulada en OOK.

Transmitido	Probabilidad	Error del receptor
$S_d = 0; S_i = 1$	0.25	$S_i > S_{d0}$ ; y $S_i > V_t$ ; Receptor detecta un "1" (Bloqueado) o $S_{d0} > S_i$ ; y $S_{d0} > V_t$ ; Receptor detecta un "1" (Falsa alarma)
$S_d = 0; S_i = 0$	0.25	$S_{d0} > V_t$ ; Receptor detecta un "1" (Falsa alarma)
$S_d = 1; S_i = 0$	0.25	$S_{d1} < V_t$ ; Receptor detecta a "0" (Fallo)
$S_d = 1; S_i = 1$	0.25	$S_{d1} > S_i$ ; y $S_{d1} < V_t$ ; Receptor detecta un "0" (Fallo) o $S_i > S_{d1}$ ; y $S_i < V_t$ ; Receptor detecta un "0" (Bloqueado)

**Tabla 2**

$$P(\text{caso 1}) = 0.25 \left[ P(S_i > V_t) \right]_{S_i > S_{d0}} + \left[ P(S_i > V_t) \right]_{S_{d0} > S_i}$$

$$P(\text{caso 2}) = 0.25 P(S_{d0} > V_t)$$

$$P(\text{caso 3}) = 0.25 P(S_{d1} < V_t)$$

$$P(\text{caso 4}) = 0.25 \left[ P(S_{d1} < V_t) \right]_{S_{d1} > S_i}$$

La probabilidad total de error es la suma de las cuatro contribuciones de los errores identificados en la Ec.2.9. Las siguientes tres gráficas muestran la predicción de probabilidad del error para una señal en ASK en presencia de una señal de

interferencia. La Fig.2.16 es una señal ASK con una delta de 4.77 dB y una relación señal/ruido de 10, 15 y 20 dB. La Fig.2.17 es una señal ASK con una delta de 8.4 dB y una relación señal/ruido de 10, 15, y 20 dB. Así mismo, la Fig. 2.18 es una señal ASK con una delta de 16 dB. Cada una de estas figuras muestra gráficamente la probabilidad de error como una función de la amplitud de la señal de interferencia. Comparaciones entre las Figs.2.13, 2.16, 2.17, y 2.18 muestran que el efecto de la señal de interferencia sobre la probabilidad de error puede ser disminuido por una transmisión ASK contra una OOK. Las gráficas 16, 17, y 18 también muestran el decremento de la delta entre dos amplitudes de la portadora de "1" y un "0" disminuye el efecto causado por la señal de interferencia. Sin embargo, desempeño mostrado en la Fig.2.15 indica que la probabilidad de error empeora cuando la delta es disminuida.

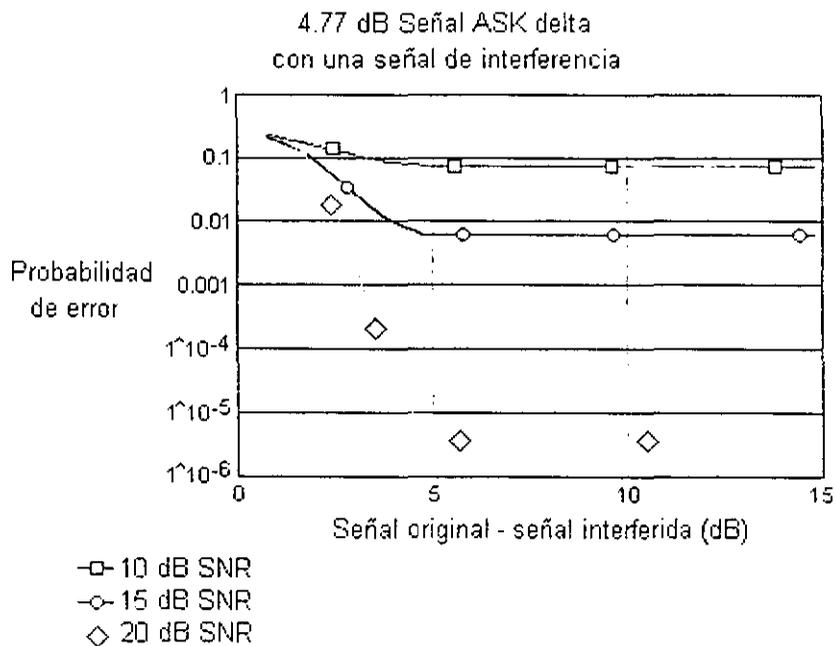


Figura 2.16. Señal ASK con una delta de 4.77 dB.

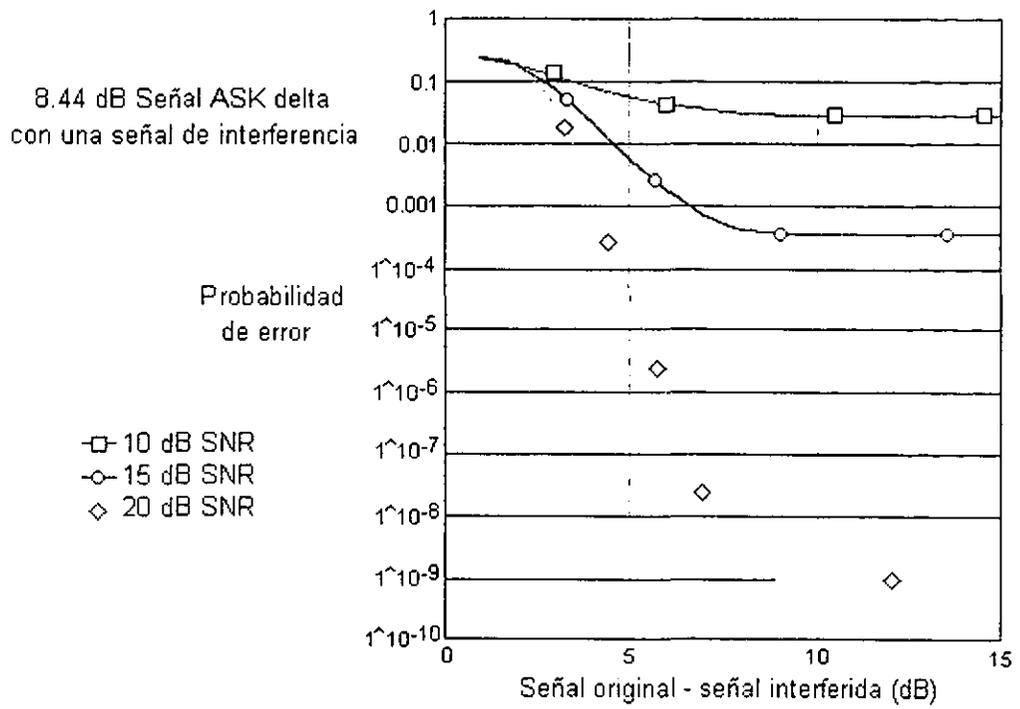


Figura 2.17. Señal ASK con una delta de 8.4 dB.

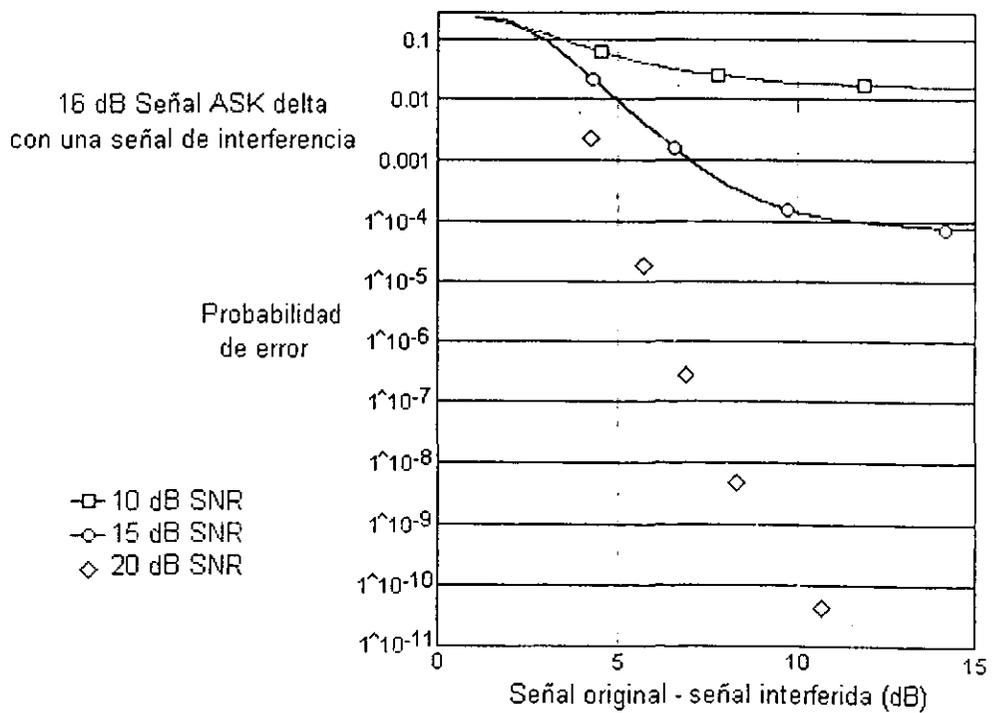


Figura 2.18. Señal ASK con una delta de 16 dB.

### 2.3.5.- Probabilidad de error para FSK

La probabilidad de error para la modulación FSK no coherente fue previamente descrita en la sección 2.3.1. El modelo usado descrito en la Ec.3 se muestra a continuación en la Fig.2.19:

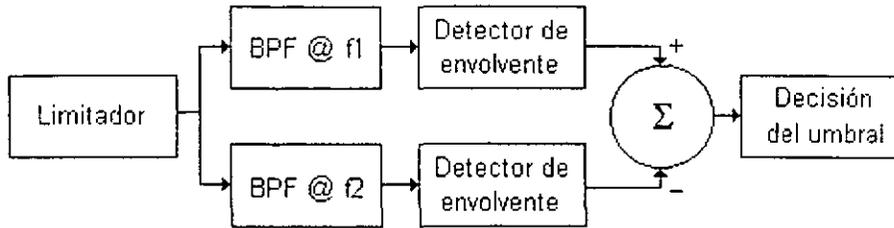


Figura 2.19. Producción de una señal en FSK por medio de la suma de dos señales en ASK.

Este modelo sugiere que la modulación FSK no coherente puede ser tratada como dos señales ASK, una a una frecuencia  $f_1$  y la otra a una frecuencia  $f_2$ . Teóricamente el limitador procura mantener la amplitud de las señales en  $f_1$  y  $f_2$  constantes, la distribución de probabilidad aparece como sigue:

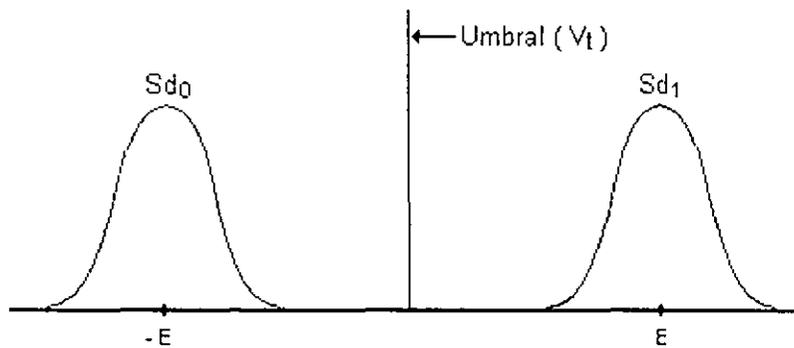


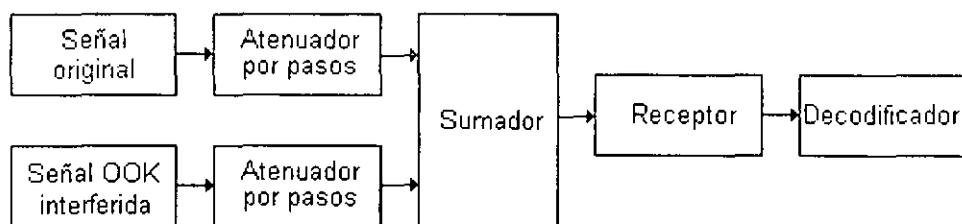
Figura 2.20. Aspecto de espectro en frecuencia de una señal modulada en FSK.

Utilizando nuevamente la suposición de que el ruido de interferencia y el ruido de la señal original son perfectamente correlacionados, la señal de interferencia podría no

influir la probabilidad de error hasta que ésta sea más grande que la señal original. Esta suposición es válida ya que las dos señales están presentes simultáneamente en el mismo filtro de banda estrecha del receptor. Es de suponer que la modulación FSK podría proporcionar mejoras marginales sobre la modulación ASK en la presencia de una interferencia.

### 2.3.6.- Resultados de laboratorio.

Las pruebas fueron realizadas usando un par codificador/decodificador de tipo estándar que requirió de un dato de 36 bits libre de error para indicar una respuesta válida. El dato fue transmitido a 2.4 kbit/s. El esquema de las pruebas se muestra a continuación:



*Figura 2.21. Simulación de una transmisión y recepción de una señal en OOK y una señal de interferencia.*

Las tablas mostradas a continuación, indican la amplitud de la señal original y la amplitud en la cual la interferencia degrada el desempeño del receptor en aproximadamente el 50%.

Señal original Modulación OOK.Mínima sensibilidad -92 dBm

Nivel señal original (OOK)	Nivel señal interferida (OOK)	Delta (Original-Interferida) dB
-20	-70	50
-25	-70	45
-30	-72	42
-35	-75	40
-40	-75	35
-45	-75	30
-50	-77	27
-55	-78	23
-60	-79	19
-65	-81	16
-70	-82	12
-75	-83	8
-80	-86	6
-85	-90	5
-90	-96	6

Señal original

Modulación ASK Delta 4.77 dB .Mínima sensibilidad -90 dBm

Nivel señal original (ASK)	Nivel señal interferida (OOK)	Delta (Original-Interferida) dB
-20	-21	1
-25	-26	1
-30	-35	5
-35	-38	3
-40	-43	3
-45	-55	10
-50	-53	3
-55	-58	3
-60	-70	10
-65	-69	4
-70	-75	5
-75	-84	9
-80	-95	15
-85	-101	16
-90	-101	11

Señal original  
 Modulación ASK Delta 9 dB .Mínima sensibilidad -93 dBm

Nivel señal original (ASK)	Nivel señal interferida (OOK)	Delta (Original-Interferida) dB
-20	-24	4
-25	-31	6
-30	-35	5
-35	-40	5
-40	-46	6
-45	-50	5
-50	-55	5
-55	-61	6
-60	-64	5
-65	-70	5
-70	-76	6
-75	-82	7
-80	-86	6
-85	-91	6
-90	-101	11

Señal original  
 Modulación ASK Delta 16 dB .Mínima sensibilidad -95 dBm

Nivel señal original (ASK)	Nivel señal interferida (OOK)	Delta (Original-Interferida) dB
-20	-31	11
-25	-36	11
-30	-41	11
-35	-47	12
-40	-51	11
-45	-56	11
-50	-62	12
-55	-66	11
-60	-70	10
-65	-77	12
-70	-81	11
-75	-84	9
-80	-86	6
-85	-90	5
-90	-95	5

Señal original  
 Modulación FSK Delta 62 kHz . Mínima sensibilidad -92 dBm

Nivel señal original (FSK)	Nivel señal interferida (OOK)	Delta (Original-Interferida) dB
-20	-26	6
-25	-32	7
-30	-36	6
-35	-40	5
-40	-45	5
-45	-50	5
-50	-55	5
-55	-58	3
-60	-63	3
-65	-68	3
-70	-74	4
-75	-80	5
-80	-86	6
-85	-91	6
-90	-98	8

Los datos mostrados indican claramente que una menor interferencia se presenta en la modulación ASK comparada con que la modulación OOK. Además, como se predijo, los resultados muestran una mejor sensibilidad y mayor influencia de la señal de interferencia cuando la delta ASK es incrementada. Los resultados de laboratorio indican que la modulación ASK es tan buena o mejor que la modulación FSK, en presencia de una señal de interferencia. Esto es totalmente contradictorio a la intuición y la teoría. Sin embargo, debido al factor en que los componentes de los receptores actuales no se comportan perfectamente, algunas anomalías pueden ser vistas en los datos. Algunos ejemplos de un comportamiento no ideal podrían ser amplificadores logarítmicos no linealizados, saturación del receptor, y ruido que no haya sido perfectamente considerado en la teoría. El modelo tampoco toma en cuenta si la señal de interferencia está aparejada en frecuencia con la señal original, también se pueden presentar pulsos esporádicos cuando se hace la detección en el filtro pasobanda del receptor. Esto puede causar que la señal de interferencia tenga una presencia más fuerte en el receptor.

### **2.3.7.- Conclusión.**

La modulación ASK es una alternativa para OOK y FSK. La modulación ASK ofrece las ventajas de tener una mayor inmunidad a las señales de interferencia que OOK y es más fácil de implementar a un costo menor que la modulación FSK. En la actualidad, empresas líderes en el ramo de radio frecuencia, como *RFM*, trabajan en la producción de chips de radio frecuencia en OOK, y próximamente modulación en ASK.

### **2.4.- Aplicaciones de circuitos de modulación OOK.**

Actualmente, cobra cada vez más importancia la utilización de la modulación OOK debido a la sencillez de implementación. Los circuitos moduladores y demoduladores ya están implementados en un chip, poseen una demanda de corriente realmente pequeña, lo cual los hace ideales en aplicaciones de bajo consumo y en dispositivos portátiles. A estos nuevos diseños de comunicación se les encuentra en aparatos de diversos géneros, según la referencia [15].

- Accesos electrónicos inalámbricos.
- Sistemas de seguridad.
- Control remoto para luces de alumbrado.
- Puertas de garage.
- Sistemas de monitoreo y medición inalámbricos.
- Periféricos de transmisión de datos por radio frecuencia.
- Telemetría de datos para equipo médico.
- Control y transmisión de datos para dispositivos caseros.

# Capítulo 3. Sistema de adquisición de imágenes, información de los sensores, mezcla y modulación de la señal de video.

Este capítulo marca el inicio de la implementación de la electrónica. El primer sistema comprende la adquisición de imágenes utilizando una cámara CCD de video estándar NTSC con salida analógica, la electrónica para la adquisición de 3 bytes de datos de los sensores, las fuentes de alimentación para todos los sistemas montados en el robot, la electrónica para la mezcla de las señales de video junto con la de los sensores para finalmente modularla en AM a 83.5 MHz, el siguiente diagrama ilustra al primer sistema del robot.

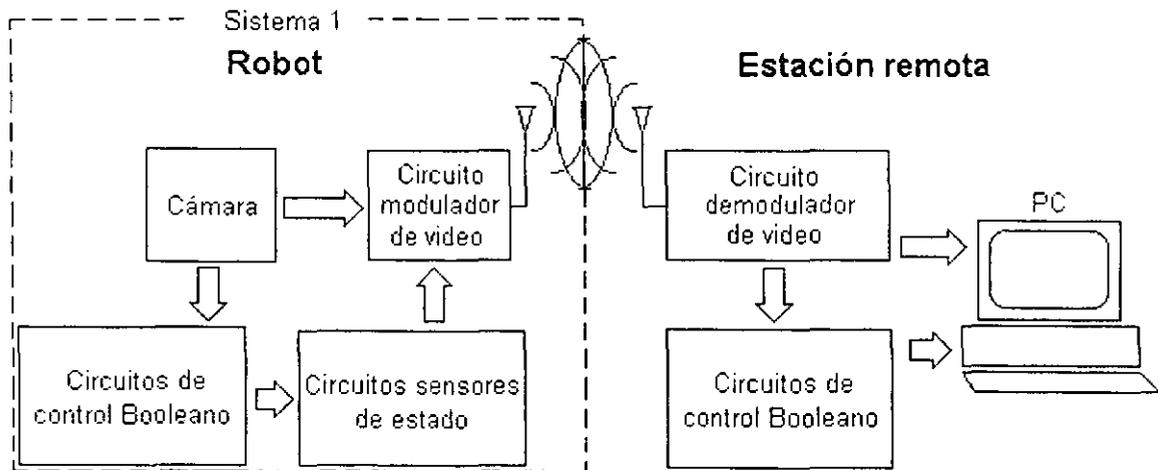
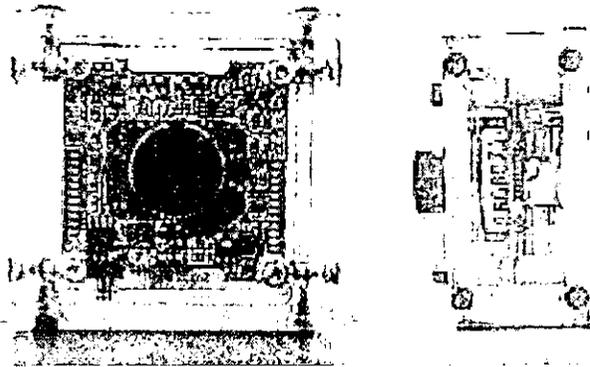


Figura 3.1. Esquema del primer módulo electrónico.

## 3.1. Adquisición de imágenes por medio de una cámara CCD.

La adquisición de las imágenes se logra por medio de una pequeña cámara de video CCD. A continuación se muestra la cámara utilizada:



*Figura 3.2.- Cámara CCD utilizada para la implementación del sistema de adquisición de imágenes.*

Se trata es una cámara analógica con salida en blanco y negro RS-170, modelo MTV-361EM, sus características más importantes se muestran en la tabla siguiente.

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Dispositivo sensor de imagen.	1/3" CCD transferencia interlineado.
Area del sensor de imagen.	4.9 mm X 3.7 mm.
Elementos de estructura.	510(H) X 492(V).
Frecuencia horizontal.	15.750 kHz.
Frecuencia vertical.	60 Hz.
Sistema de barrido.	525 líneas, 60 campos/seg.

Salida de video.	1.0 Vpp, video compuesto, 75 $\Omega$ carga.
Angulo de lente.	Diagonal 65 2', Horiz 52 1', Vert 39 5'.
Alimentación y consumo.	DC 12 V, 100 mA, 1.2 W.
Dimensiones.	44 mm X 44 mm X 15 mm.
Temperatura de operación.	-20 °C +55°C.
Peso.	40 grs.

### 3.2.- Sistema de monitoreo de la señal de video en el robot.

La señal de video compuesta proveniente de la cámara es monitoreada por un circuito separador de sincronía de video LM1881 de National Semiconductor. Este circuito nos permite analizar por separado las señales de sincronía vertical, sincronía horizontal, señales de los impulsos del color entre otras más, según la referencia [14]. Estas señales son de suma importancia, ya que en todo momento serán las referencias para el control y demás procesos que se deben realizar en el robot.

A continuación se muestra el circuito generador de las señales de sincronía del video:

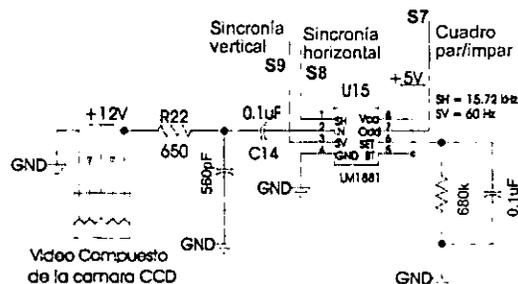


Figura 3.3. Circuito detector de sincronía horizontal y sincronía vertical.

En la Fig.3.4 se muestran las señales generadas por el circuito implementado:

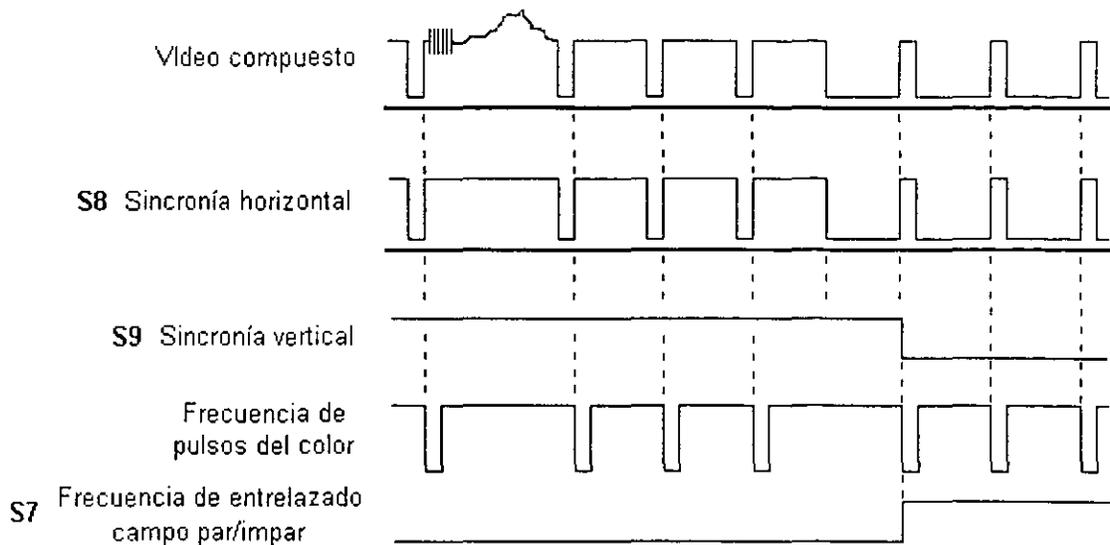


Figura 3.4. Señales de sincronía producidas por el circuito detector LM1881.

Recordemos la línea típica de video compuesto y de dónde proceden las señales generadas por el circuito LM1881:

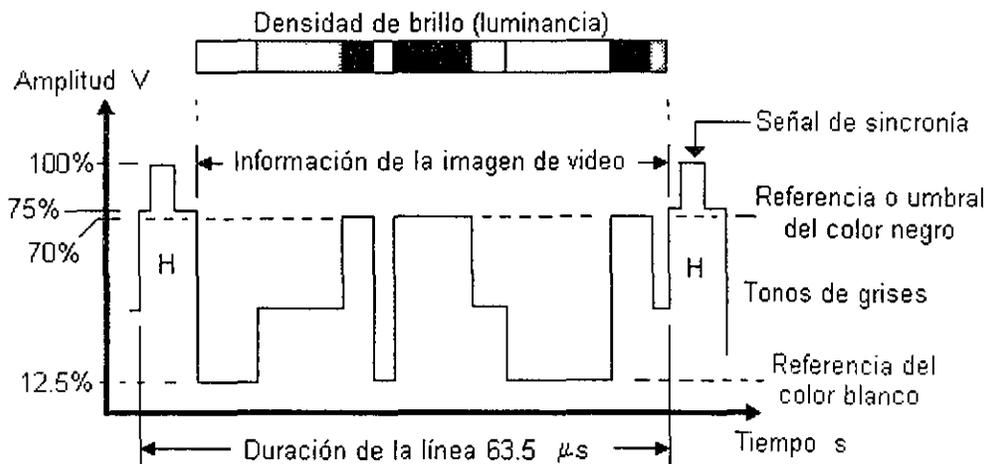


Figura 3.5. Forma típica de una línea de video compuesto.

En el siguiente apartado veremos cómo con las señales de sincronía vertical y horizontal haremos el control con lógica Booleana tradicional, posteriormente veremos la mezcla de la información proveniente de los actuadores del robot, éstos actuadores



A continuación se muestran las señales de control generadas y utilizadas para realizar el control de la demás electrónica empleada además de la generación de los 24 pulsos, al mismo tiempo se muestra a la señal de video para poder apreciar los tiempos de generación.

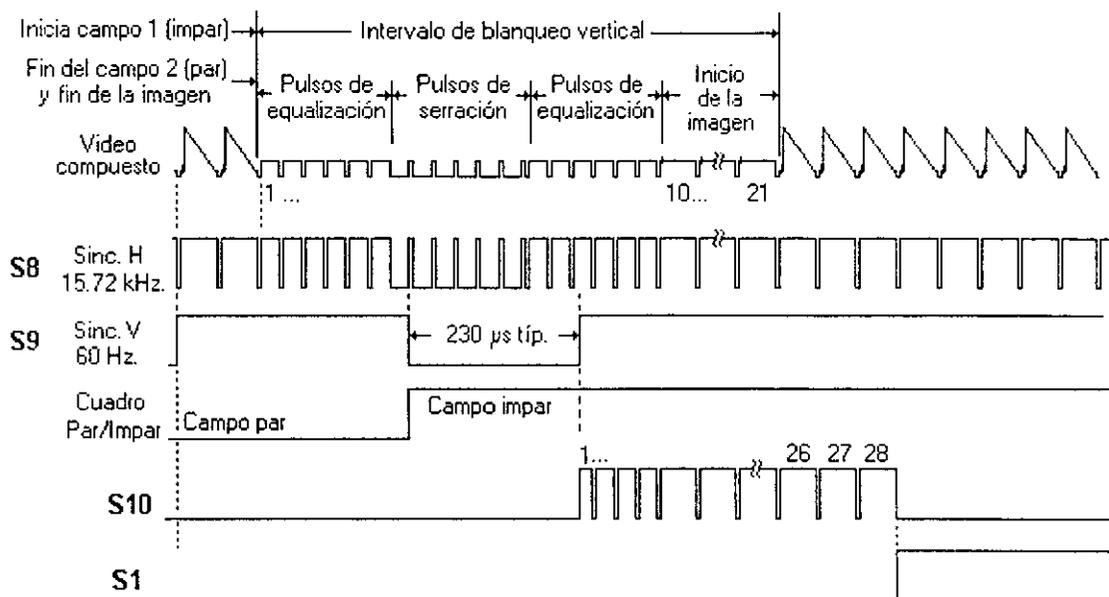


Figura 3.7. Diagrama de tiempo de las señales lógicas para el control del robot.

Ahora se muestran los pulsos tomados del osciloscopio:

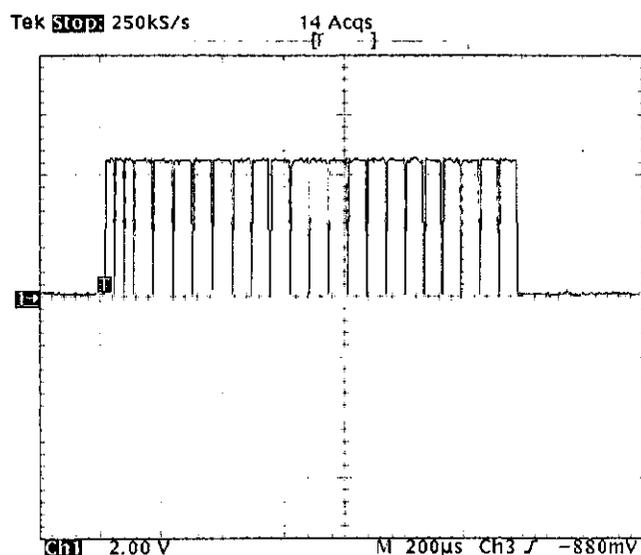


Figura 3.8. Oscilograma mostrando los 24 pulsos generados por los contadores.

### 3.4.- Sistema de adquisición de información de dirección.

El sistema de adquisición de datos de la dirección se logró utilizando un convertidor analógico-digital, el ADC805. Se conectó mecánicamente un potenciómetro al eje de giro de la rueda delantera del robot, de tal manera, que al girar esta el eje de la rueda, hiciera girar también los mismos grados al potenciómetro. Así, el convertidor analógico-digital nos transformaría los grados de giro en su equivalente codificado digitalmente. En la Fig.3.9 se muestra el montaje del potenciómetro sobre el eje de giro de la dirección en el robot:

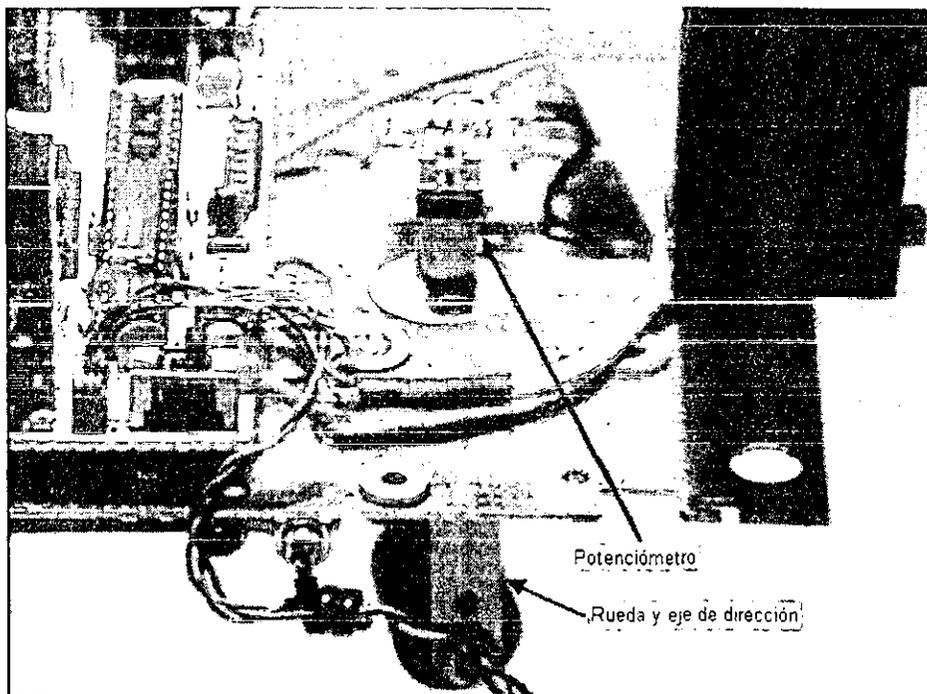


Figura 3.9. Montura física del potenciómetro sobre el eje de dirección.

La Fig.3.10 muestra el circuito esquemático del convertidor analógico/digital ADC805 (que codifica el ángulo de giro de la rueda de dirección) y los registros de corrimiento SN74LS165, que sirven para tener una salida tipo serial, cuando se les introduce una entrada en paralelo, como la que nos proporciona a su salida el ADC805, consultar las referencias [13] y [15]; adicionalmente se conectaron dos registros de corrimiento para obtener los dos bytes restantes que podrían provenir de algún otro

dispositivo de sensado u otro periférico que el usuario quisiera conectar, y así obtener los 3 bytes de datos IGER.

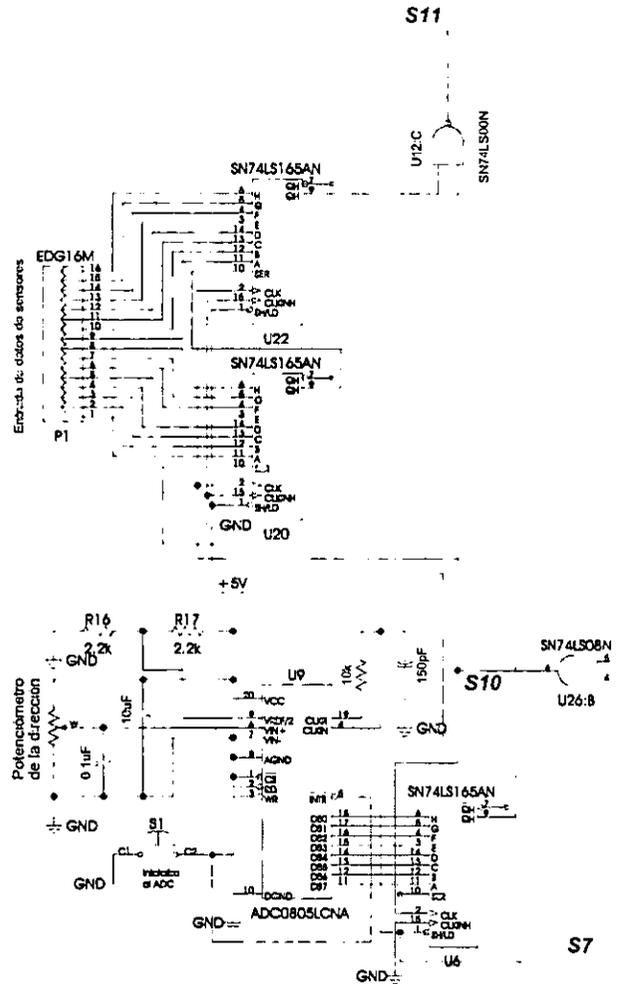


Figura 3.10. Esquemático mostrando al convertidor A/D y su registro de corrimiento.

A continuación se muestra en la Fig.3.11 al diagrama de tiempos y el oscilograma correspondiente, en donde se aprecian las características del tiempo de activación de los registros de corrimiento SN74LS165, desde el tiempo de carga LOAD, el tiempo de corrimiento SHIFT y los pulsos de reloj que activan el corrimiento.

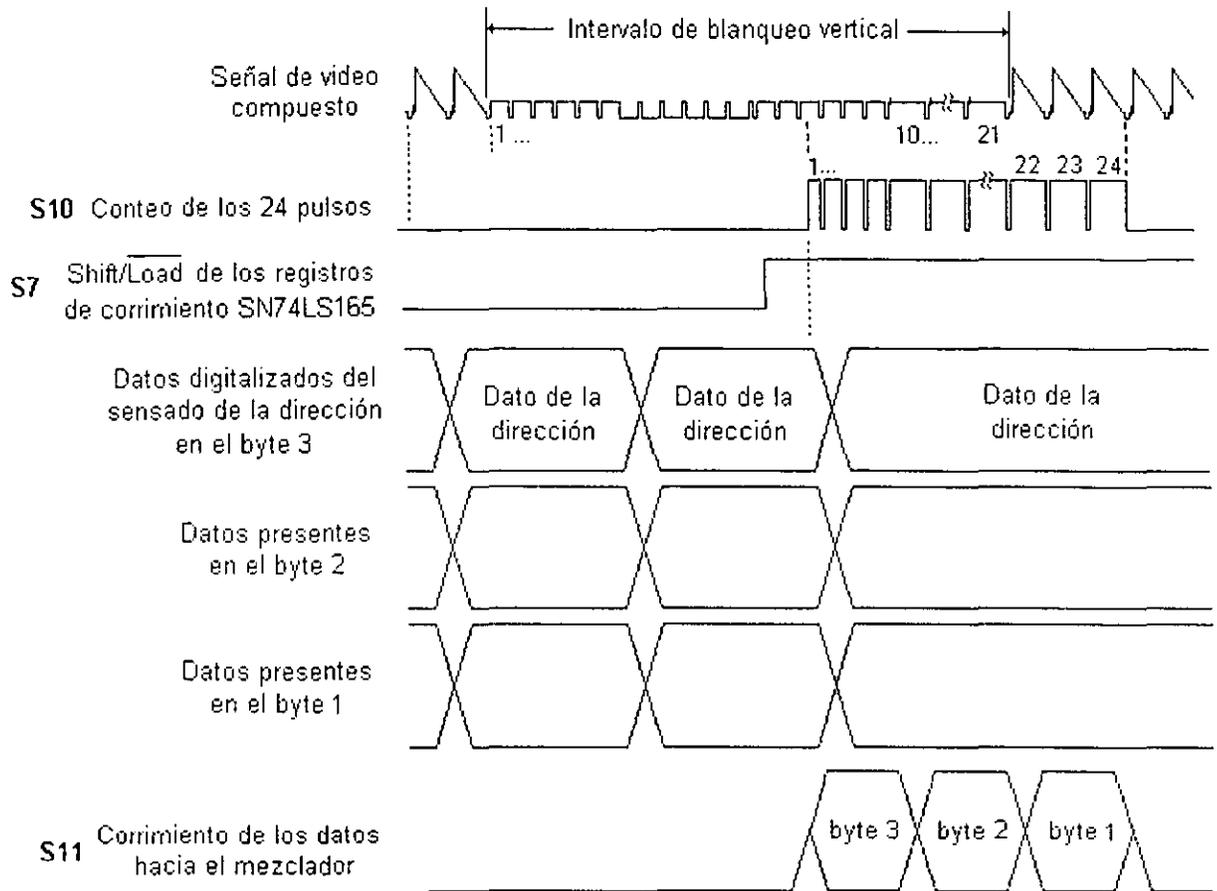


Figura 3.11. Diagrama de tiempos mostrando al video compuesto, los 24 pulsos generados por la lógica de control y la señal de carga/corrimiento de los registros.

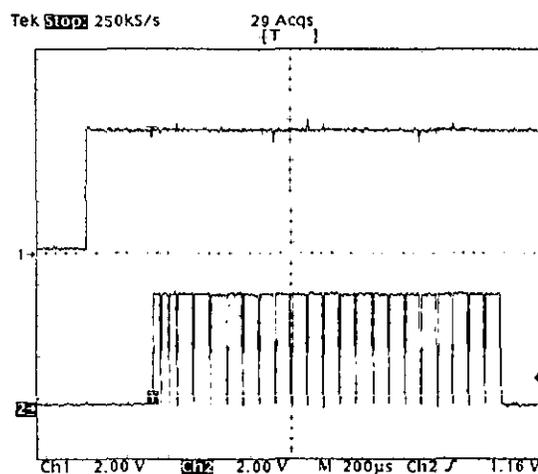
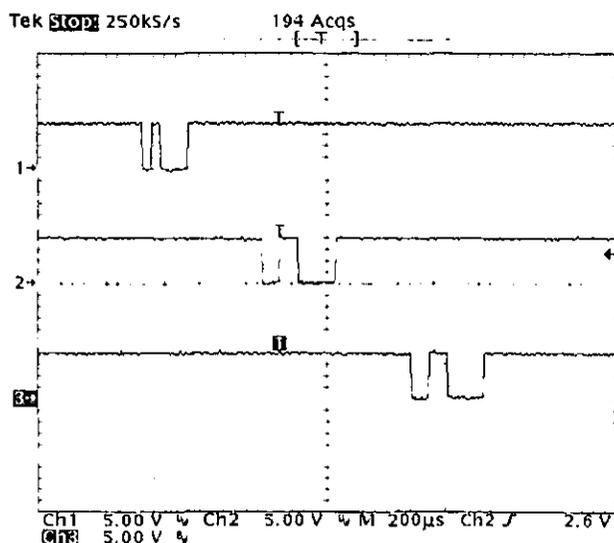


Figura 3.12. Oscilograma mostrando la señal de carga/corrimiento y la señal de 24 pulsos de reloj que indican el corrimiento.

El oscilograma de la Fig.3.13 muestra los 3 bytes de datos digitales a través de los registros SN74LS165. Recordemos que el tercer byte de datos proviene del convertidor analógico digital que codifica el ángulo de giro de la rueda de dirección en un dato binario, los otros dos corresponden a posibles sensores que pudieran conectarse, en este caso están puestos en alto porque no tenemos ningún otro sensor conectado.



*Figura 3.13. Oscilograma mostrando los tres bytes de datos a través de cada registro de corrimiento.*

En la Fig.3.14 se muestran las señales S11 que salen de la compuerta NAND etiquetada como U12:C, la cual, hace la conjugación de las señales de los 3 bytes de datos de los sensores, con los 24 pulsos de reloj; a la salida tenemos la señal que se envía a mezclador de video.

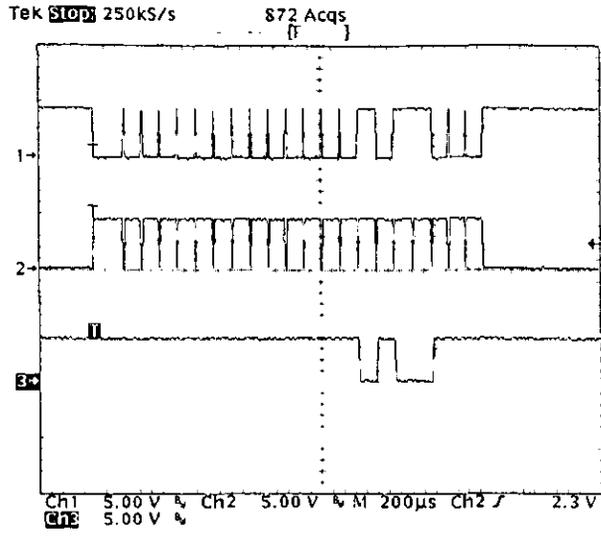


Figura 3.14. Oscilograma mostrando las señales de entrada y la salida de la compuerta NAND etiquetada como U12:C.

**3.5.- Sistema electrónico de la mezcla de señales de video compuesto, datos de la dirección del robot y datos de los actuadores.**

La Fig.3.15 muestra la forma típica de la señal de video compuesto con cierta información:

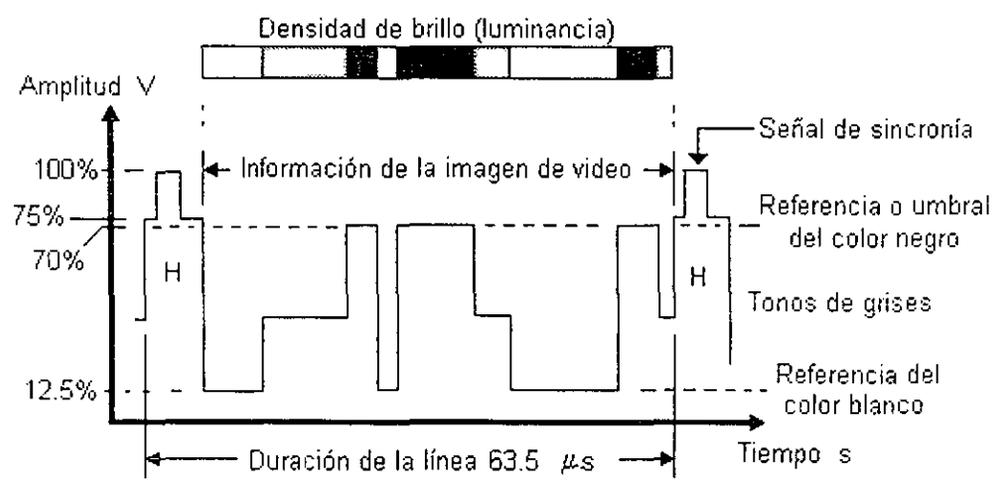


Figura 3.15. Forma típica del video compuesto.

Para lograr la mezcla de la señal de video con la información digital proveniente de los sensores del robot, tendríamos que hacer que la señal mezclada tenga la siguiente forma (en el ejemplo se inserta el dato IGER con valor 1011):

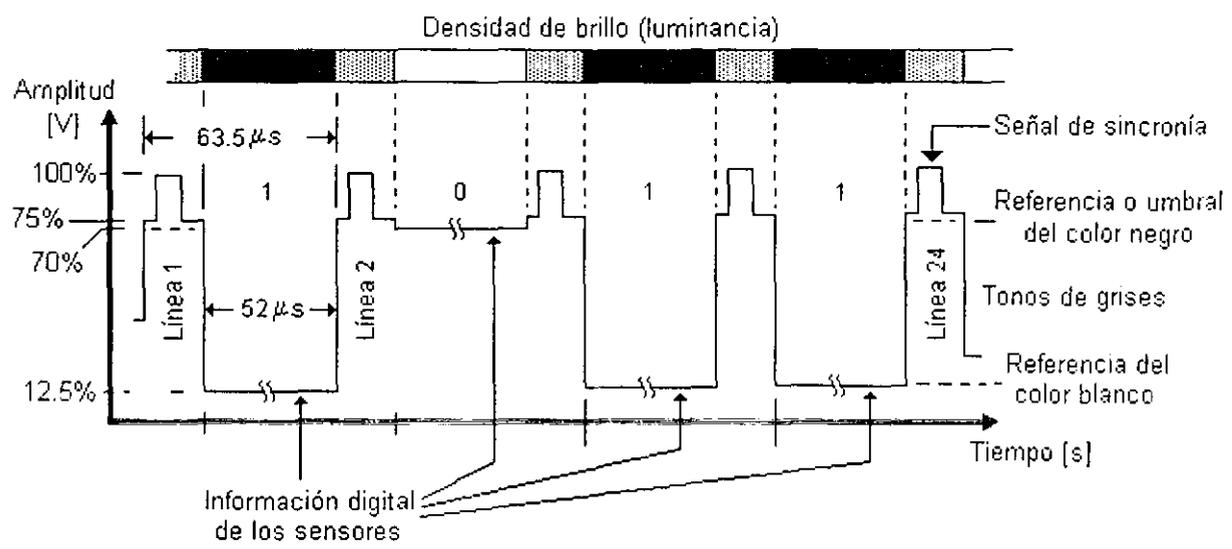


Figura 3.16. Esquema mostrando las líneas donde se insertan las señales IGER con la señal de video, para este caso se insertó el dato 1011.

Para lograr tal tarea se implementó el circuito mostrado a continuación:

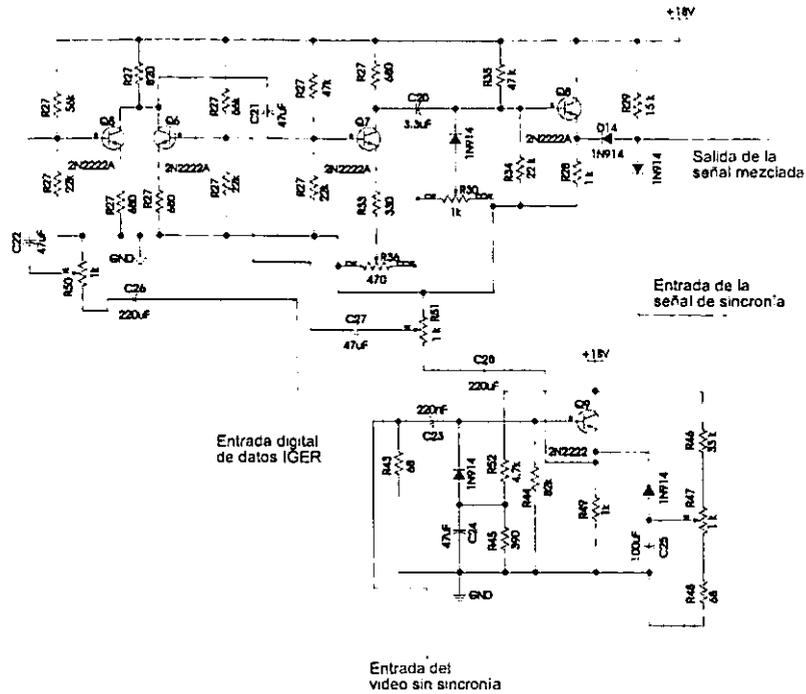


Figura 3.17. Circuito esquemático mostrando la mezcla de las señales IGER y la señal de video compuesto de la cámara CCD.

El módulo electrónico ubicado al extremo inferior derecho es un recortador de pulsos de sincronía horizontal y sincronía vertical que trae consigo la señal de video compuesto proveniente de la cámara, se ajusta con el potenciómetro R47 de 1k para eliminar la componente de DC y permitir el paso sólo a la señal del video puro; posteriormente, el circuito mezclador tiene a su entrada una etapa en configuración par diferencial (transistores Q5 y Q6) con un control de ajuste para la corriente de base de cada transistor, posteriormente se le da ganancia con Q7, en la etapa del transistor Q8, se le agrega una componente de DC a la señal mezclada para finalmente insertar la señal de sincronía; obteniendo así la señal mezclada.

La Fig. 3.18 muestra las entradas al mezclador electrónico, el cual utiliza la señal del video proveniente de la cámara CCD, con la señal IGER de los sensores.

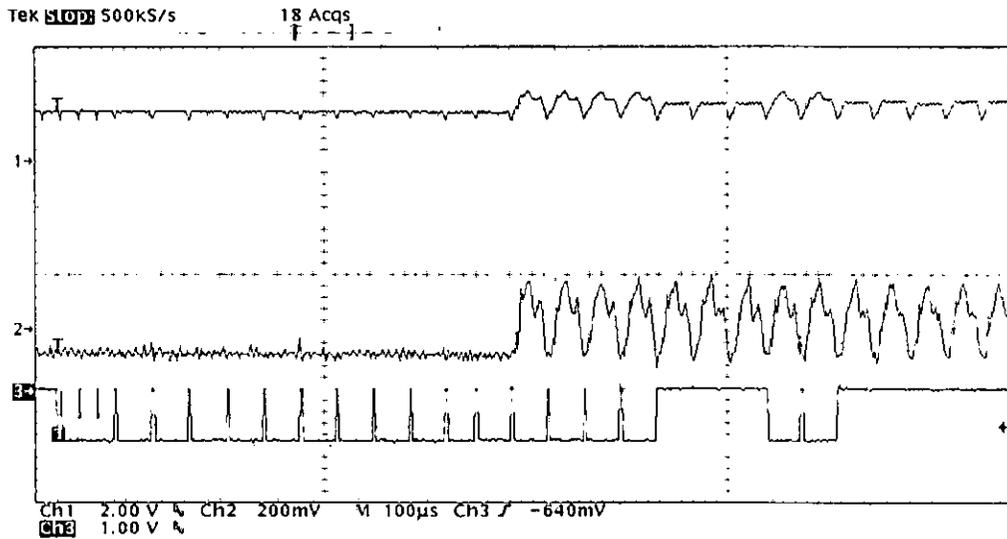


Figura 3.18. Señales mezclada de video (canal 1), junto con las dos señales que la componen: señal de video proveniente de la cámara (canal 2) y señal IGER (canal 3).

### 3.6.- Sistema modulador de video.

Una vez logrado lo anterior, el circuito modulador propuesto para la modulación en AM de la señal compuesta de video es el siguiente:

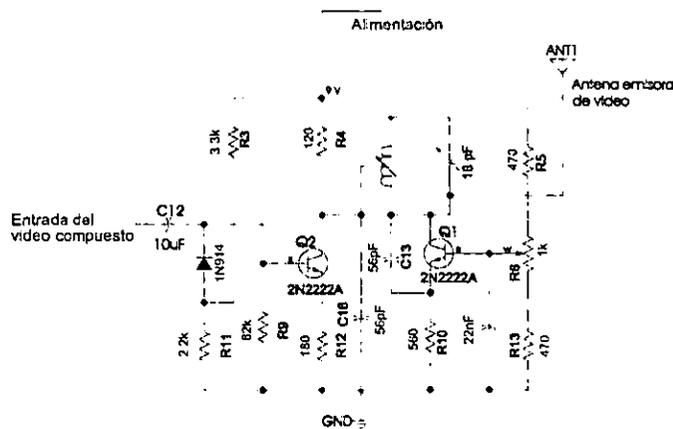
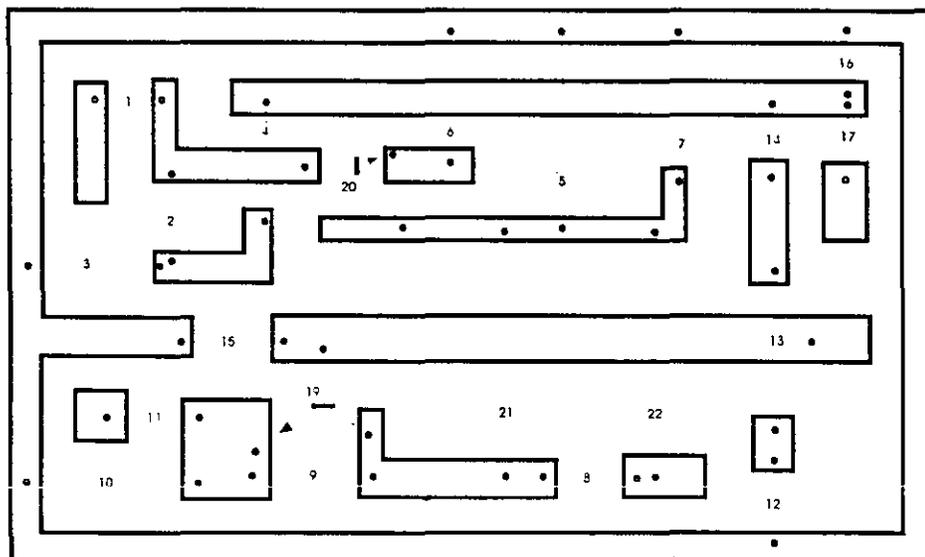


Figura 3.19. Circuito esquemático del modulador de la señal de video compuesto.

El circuito consta solamente de dos transistores como dispositivos activos, ésta es la configuración más sencilla y básica para lograr una modulación en AM. Se implementa un oscilador cuya amplitud puede variar de acuerdo con la señal de video

proveniente de la cámara. Se debe notar que el oscilador produce una señal en la banda de VHF, aproximadamente a 83.5 MHz, lo cual corresponde a la frecuencia del canal 6 de televisión, por lo que el monitoreo se podrá lograr en forma paralela por alguna otra persona además de la que trabaje con la PC. En el diagrama vemos al transistor Q2 está conectado en modo base-común, y la frecuencia principal determinada por la bobina L, la cual tiene 7 vueltas y el capacitor de 18pF conectado en paralelo con la bobina. Con un trimmer capacitivo de aproximadamente 30 pF es posible sintonizar el oscilador en un rango de un canal en la banda de VHF.

La alimentación de voltaje para Q2 es proporcionada por la señal de video. El porcentaje de modulación puede ser ajustada por el potenciómetro R6 el cual es ajustado mientras se observa la imagen. La sobremodulación produce una imagen negativa, la cual no puede ser sincronizada del todo; mientras una submodulación aparenta una imagen gris y pobre en contraste. La frecuencia de salida es ligeramente independiente de la carga. Esta podría no causar ninguna dificultad si se considera correctamente una carga de  $75\Omega$ . En la Fig.3.20 se muestra un diagrama donde aparece la disposición de los componentes que utiliza este circuito modulador:

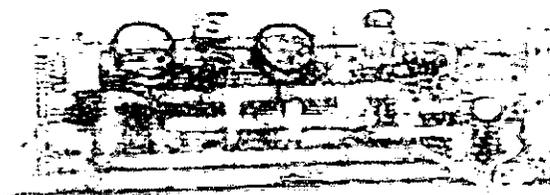


*Figura 3.20. Diagrama con la disposición física de los componentes en el circuito modulador.*

La lista de componentes utilizados en el circuito modulador de la señal de video compuesto y la numeración utilizada en el diagrama anterior son:

- |                                |                               |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1.- Capacitor 10 $\mu$ F       | 8.- Capacitor 56 pF           | 15.- Resistencia 1 k $\Omega$ |
| 2.- Diodo 1N914                | 9.- " 18 pF                   | 16.- Capacitor 22 nF          |
| 3.- Resistencia 2.2 k $\Omega$ | 10.- " 56 pF                  | 17.- Capacitor 10 nF          |
| 4.- Resistencia 33 k $\Omega$  | 11.- Resistencia 560 $\Omega$ | 18.- Ferrita                  |
| 5.- Resistencia 82 k $\Omega$  | 12.- Capacitor 22 pF          | 19.- Transistor 2N2222A       |
| 6.- Resistencia 120 k $\Omega$ | 13.- Resistencia 1 k $\Omega$ | 20.- Transistor 2N2222A       |
| 7.- Resistencia 180 k $\Omega$ | 14.- Trimmer 470 $\Omega$     | 21.- Bobina 1                 |
|                                |                               | 22.- Bobina 2                 |

La Fig.3.21 muestra el circuito modulador ya implementado:





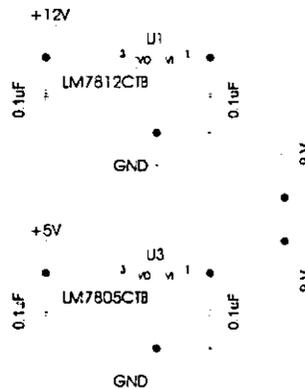
*Figura 3.21. Imagen mostrando al circuito modulador de video ya implementado.*

Finalmente para el sistema del emisor, tenemos el modulador en AM el cual da ganancia a la señal de video gracias al transistor Q2, la señal portadora de *RF* producida por el circuito tanque conformado por la inductancia y el capacitor situados sobre Q1, tiene una frecuencia de 83.5 MHz (VHF), esto es, la señal de video amplificada sirve como envolvente (o moduladora) de la señal portadora producida en Q2. Se prefirió la modulación en AM debido a que el ancho de banda requerido para la información de video en FM sería extremadamente ancha, además de impráctico; en cambio con modulación en AM tenemos un ancho de banda mucho más pequeño y además de que la circuitería resulta más sencilla, ajustándose todos éstos factores con las necesidades requeridas.

Los fabricantes de componentes para aplicaciones de *RF*, recomiendan componentes de montura superficial y un cuidadoso diseño del circuito impreso para asegurar un máximo de potencia y la mejor supresión de armónicas.

### 3.7.- Sistema regulador de voltaje para los circuitos electrónicos.

Para asegurar la alimentación para todos los sistemas electrónicos montados en el robot, tenemos dos reguladores de voltaje, tipo LM7805 y LM7812, tal y como se muestra en la siguiente figura:



*Figura 3.22. Sistema regulador de voltaje para el robot.*

Utilizando dos pilas de 9V cada una, logramos polarizar correctamente los reguladores de voltaje, de tal manera, que obtenemos los voltajes de 5V para la lógica TTL y un voltaje de 12V para la alimentación de la cámara CCD.

La información proveniente del robot es captada por el sistema receptor en la estación remota:

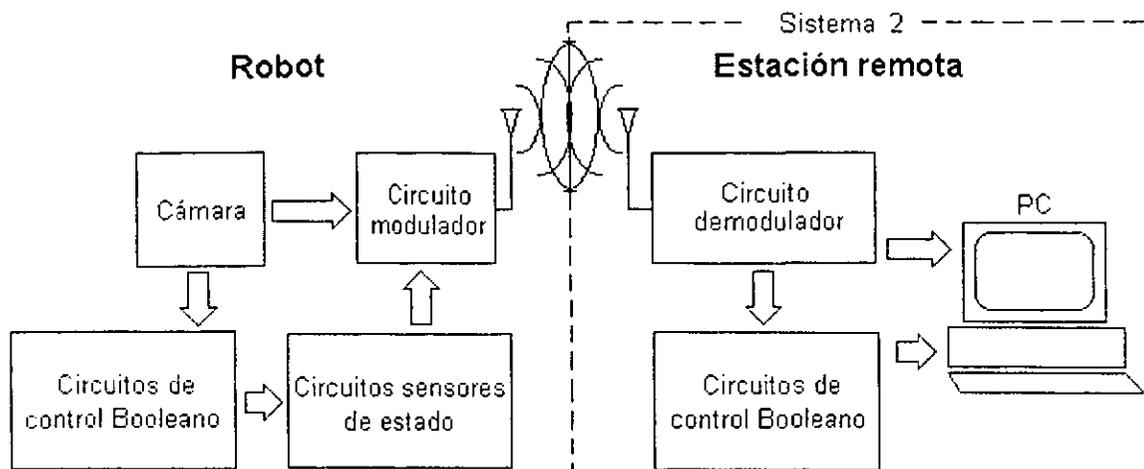


Figura 3.23. Descripción del segundo sistema electrónico situado en la estación remota.

Este sistema de recepción es analizado en el siguiente capítulo, ya que este módulo es considerado como el segundo sistema electrónico realizado en este trabajo de tesis.

## Capítulo 4. Recepción del video, separación de la información del estado del robot y lectura por el puerto paralelo.

El presente capítulo muestra el método utilizado para hacer la recepción y demodulación de la señal de *RF* de donde se separan el video y las señales de los sensores, éstas últimas son leídas por el puerto paralelo de la PC.

En la figura siguiente se muestra el esquema del segundo módulo electrónico:

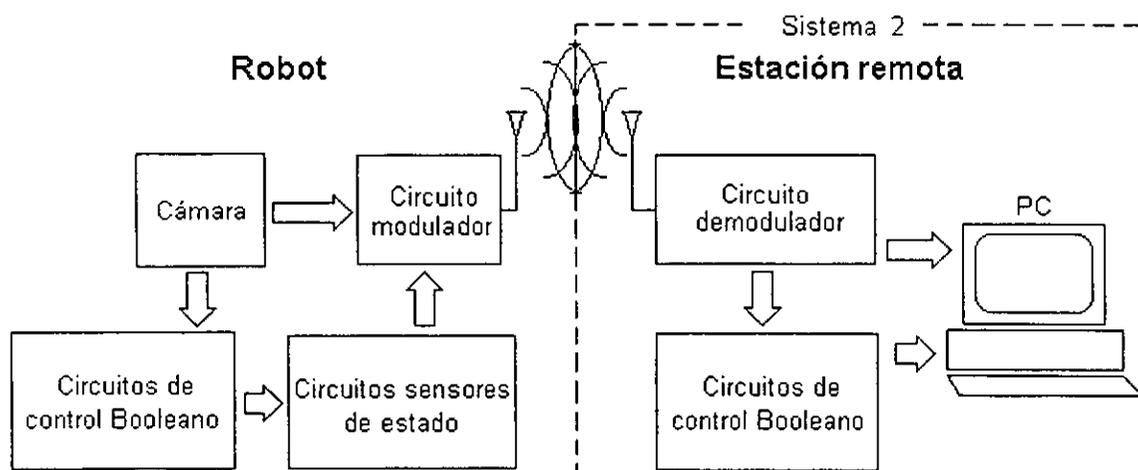
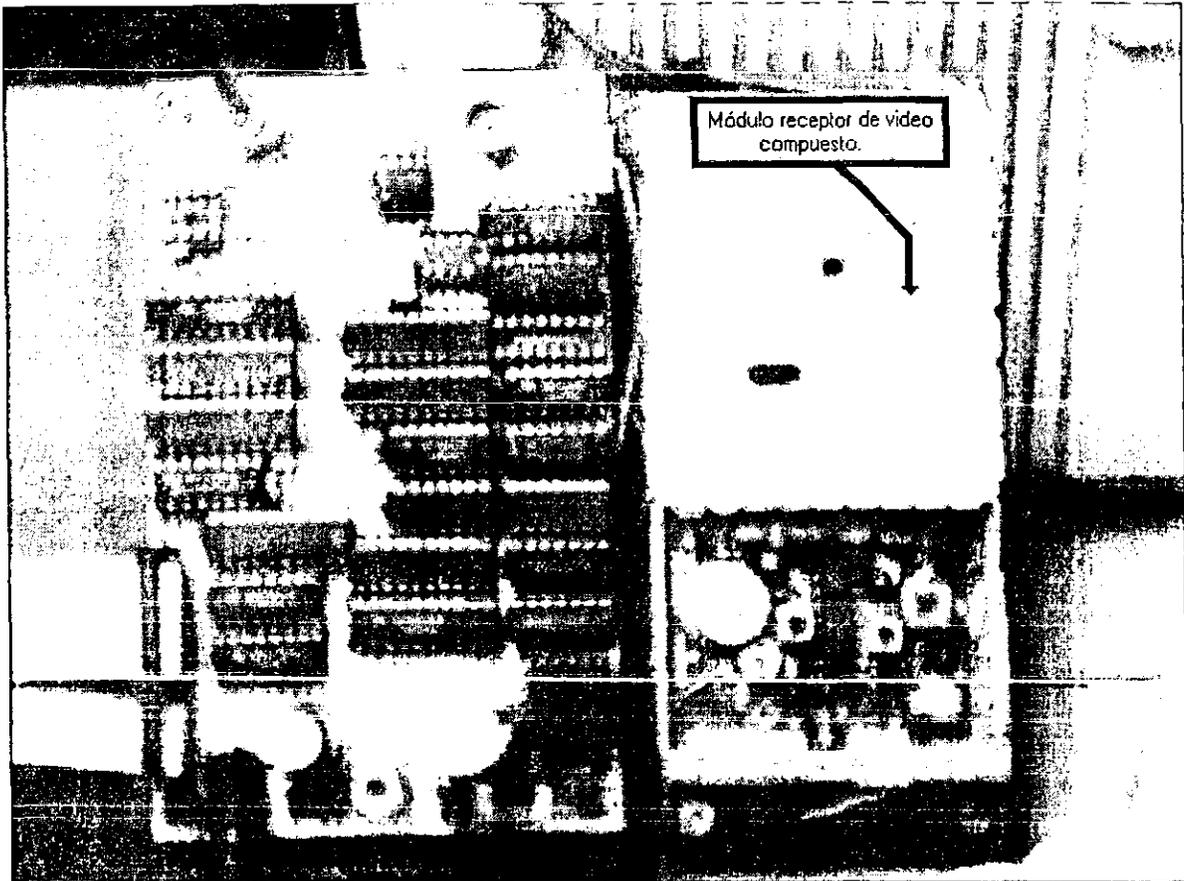


Figura 4.1. Esquema donde se remarca el segundo módulo electrónico.

### 4.1.- Sistema receptor de *RF* de la señal de video compuesto mezclada.

Para el sistema receptor de video, utilizamos un módulo de radio frecuencia extraído a una videocasetera casera. A este módulo de radio frecuencia de video, se le logró caracterizar en su funcionamiento para ser utilizado. Cabe mencionar, que gracias a la versatilidad en su conjunto del diseño de la electrónica empleada, podemos utilizar cualquier aparato con sintonización y salida de video; tal como una videocasetera o una televisión.

A continuación se muestra una fotografía del módulo de radiofrecuencia para video que se utilizó:



*Figura 4.2. Módulo de sintonía.*

Este módulo de sintonía de video nos permite obtener la señal de video compuesto ya demodulada, es decir, que el video ya no está modulado a 83.5 MHz, sino que ahora, éste se encuentra en su banda base.

Esta señal de video contiene, además de la información de video propia de las imágenes transmitidas por el robot, la información digital del estado del robot, las cuales tienen el siguiente formato mostrado en la Fig.4.3:

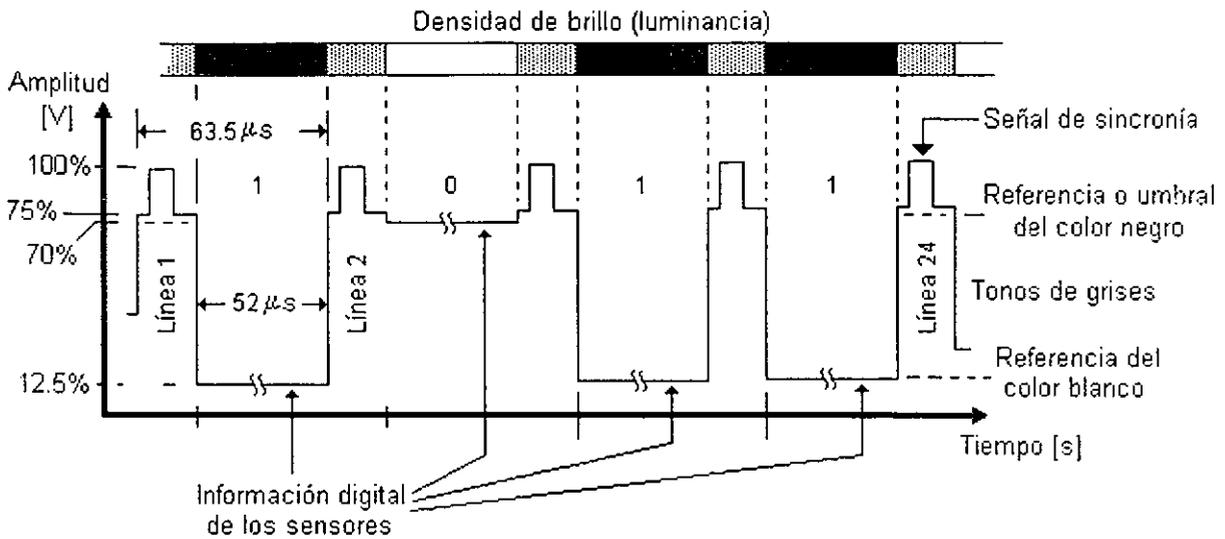


Figura 4.3. Forma en la que la señal IGER está insertada con la señal de video.

#### 4.2.- Sistema separador de señales de video y de las señales de control de la dirección.

Una vez sintonizada y demodulada la señal de RF proveniente del robot, debemos extraer la señal IGER de la señal de video, para lograrlo se implementó el siguiente circuito:

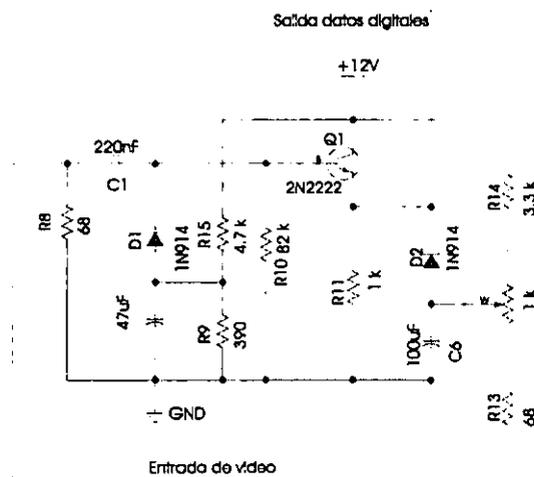


Figura 4.4. Circuito utilizado para extraer la señal IGER de la señal de video proveniente del robot.



### 4.3.- Sistema de acoplamiento de las señales IGER para su lectura por el puerto paralelo de una PC.

#### 4.3.1.- Características del puerto paralelo de la PC.

El puerto paralelo es ampliamente utilizado para hacer interface en proyectos sencillos y rápidos de tipo "caseros", ya que para su utilización se requiere de una mínima circuitería al momento de hacer pruebas, según la referencia [25].

Este puerto está compuesto de 4 líneas de control, 5 líneas de estado (o status) y 8 líneas de datos. Se le encuentra comúnmente en la parte posterior de una PC como un conector DB25 hembra. Sin embargo, también puede haber otro conector DB25 macho. Éste puede tratarse de un puerto serial del tipo RS-232, que resulta totalmente incompatible con el puerto paralelo, ver referencias [2] y [25].

Los puertos paralelos recientes trabajan bajo el estándar IEEE1284 implementado en 1994.

Este estándar define 5 modos de operación o protocolos de funcionamiento:

1. Modo compatible.
2. Modo Nibble.
3. Modo Byte
4. Modo EPP (*Enhanced Parallel Port = Puerto Paralelo Mejorado*).
5. Modo ECP (*Extended Capabilities Port = Puerto de Capacidades extendidas*).

En un principio, el objetivo era diseñar nuevos drivers y dispositivos que fueran compatibles entre sí y al mismo tiempo compatibles con el *Puerto Paralelo Normal* (SPP). Los modos Compatible, Nibble y Byte usan sólo el estándar mínimo en hardware disponible en las tarjetas originales de los puertos paralelos, mientras que los modos

EPP y ECP requieren hardware adicional, el cual puede correr más rápido y conservar la compatibilidad con el estándar del puerto paralelo.

EL modo ECP utiliza el protocolo DMA que permite la transferencia de datos de hasta 2.5 Mb/s. Además este modo proporciona una comunicación simétrica bidireccional.

El modo Compatible o modo Centronics es el comúnmente conocido, puede enviar datos sólo en una dirección a una velocidad típica de 50 kbyte por segundo, pero puede alcanzar hasta los 150 kbyte en un segundo. El modo Nibble puede recibir un nibble (4 bits) en dirección inversa. El modo Byte trabaja el puerto paralelo en forma bidireccional (encontrado sólo en algunas tarjetas) con entrada de datos de un byte (8bits).

La información del estado de la rueda de dirección del robot es introducida al puerto paralelo LPT1 de la PC. Este puerto originalmente fue de uso exclusivo para impresoras, existiendo en la actualidad básicamente 4 tipos distintos de puertos paralelos.

Después de hacer pruebas de lectura y escritura, comprobamos la configuración de estos puertos. En general, estos puertos están compuestos de 3 puertos independientes, es decir, tenemos 3 segmentos de conexiones con diferente número de bit cada uno, a continuación se muestra una tabla con las direcciones de cada segmento y su función:

## Configuración del puerto LPT1 y LPT2

DB - 25

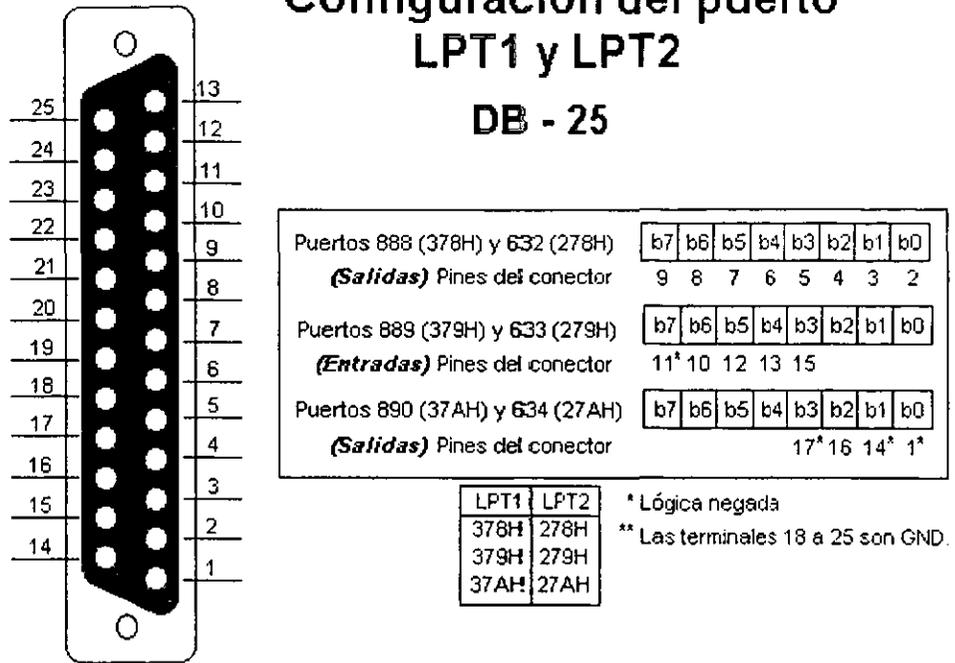


Figura 4.6. Configuración del puerto paralelo estándar mostrando los bits asignados para cada dirección de entrada y de salida.

Es decir, que tenemos tres puertos: dos puertos de salida, uno de 8 bit y otro de 4 bit; y un puerto de entrada de 5 bit, tal y como se ilustra a continuación:

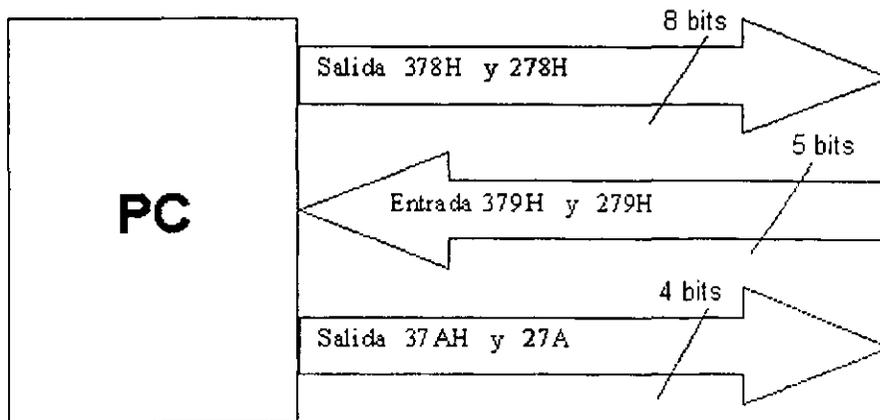


Figura 4.7. Esquema de las tres direcciones con que cuenta el puerto paralelo estándar.

### 4.3.2.- Acoplamiento con el puerto paralelo y lectura de los datos IGER.

El esquema realizado para el acoplamiento se muestra en la Fig.4.8:

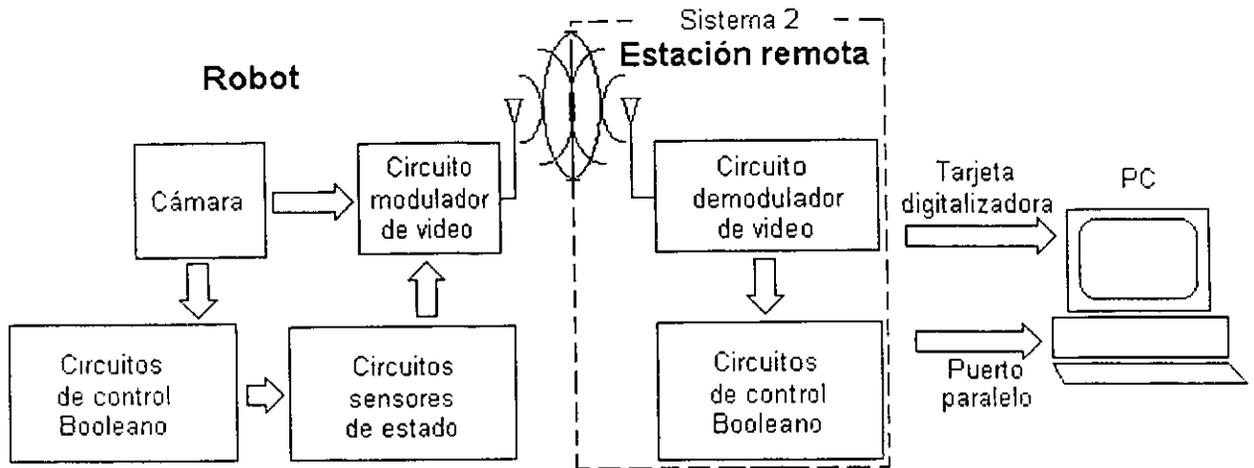
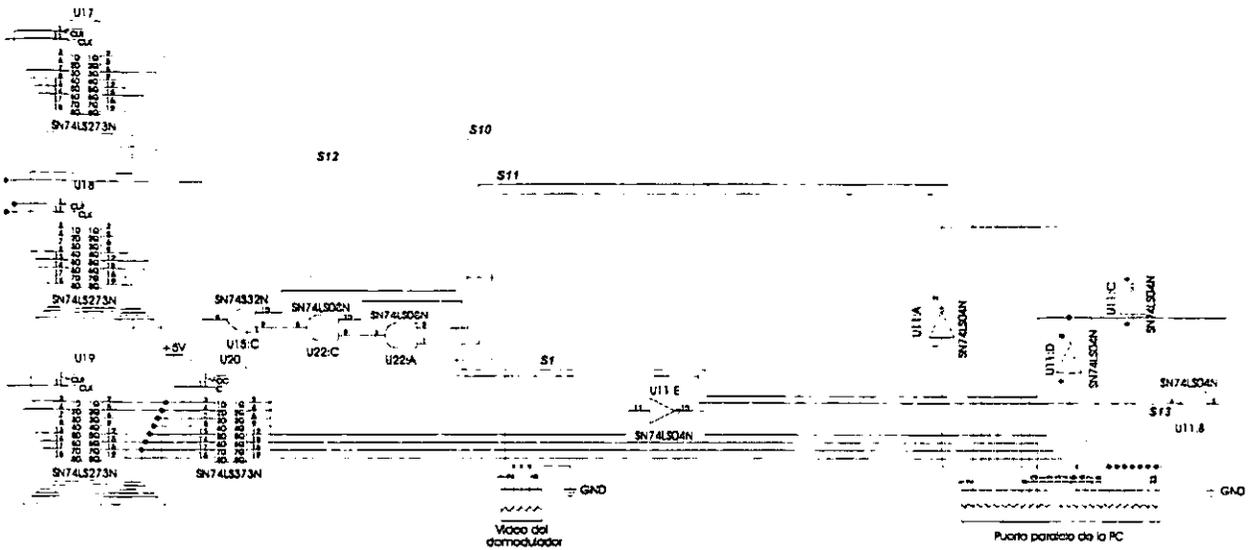


Figura 4.8. Esquema mostrando el sistema 2, correspondiente a la electrónica del receptor situado en la estación remota o PC.

Observamos que la señal de video compuesta está separada de la información digital del estado del robot. El video es enviado a la tarjeta digitalizadora situada en la PC, mientras que la información digital es enviada al puerto paralelo. Para realizar tal tarea, se empleó la siguiente electrónica mostrada en la Fig.4.9, donde sólo se etiquetaron las líneas o conexiones de interés para este apartado (de ser necesario, consulte el diagrama esquemático completo ubicado al final de este trabajo de tesis).



*Figura 4.9. Circuito esquemático mostrando la paralelización de los datos IGER del robot hacia el puerto paralelo de la PC.*

Utilizamos 3 circuitos tipo SN74LS273 para lograr la carga de los 3 byte de los datos IGER provenientes del robot, posteriormente se hace la conexión a un circuito SN74LS373 que tiene la función de permitir el paso a los datos por grupo de 4 bit; esto debido a que el puerto estándar tiene solamente cuatro bits de entrada (o de lectura). De tal forma que podemos leer los 3 byte de datos y así poder conocer el estado en que se encuentra el robot, sus actuadores y demás periféricos.

A continuación se muestra el diagrama de tiempos para el circuito de la figura anterior:

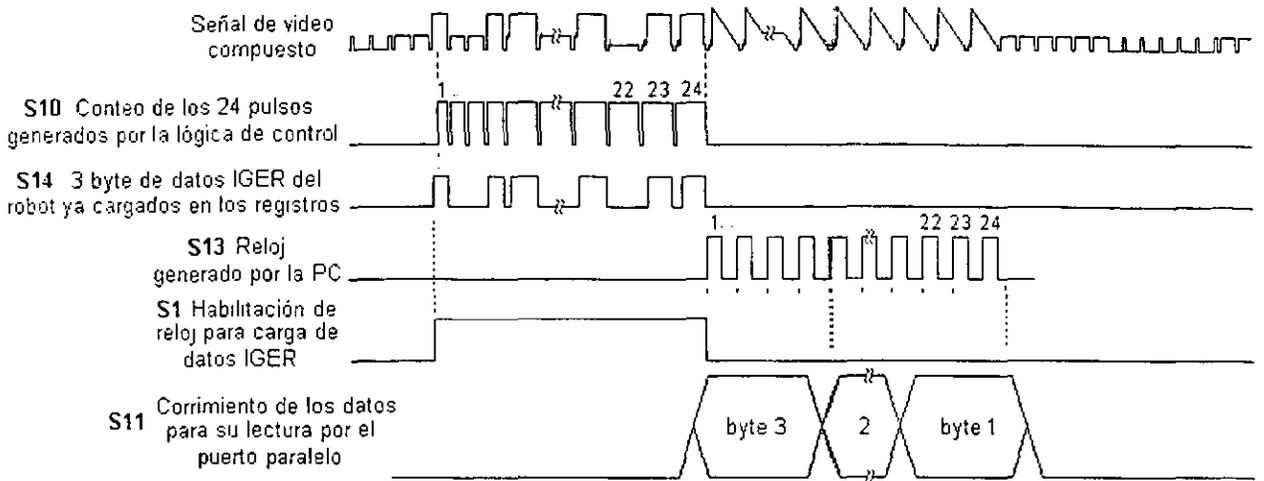


Figura 4.10. Diagrama de tiempos par el circuito de acoplamiento y lectura de datos IGER por el puerto paralelo.

#### 4.4.- Tarjeta digitalizadora.

La tarjeta digitalizadora o tarjeta de adquisición de imágenes (Frame Grabber), es de la marca Matrox Meteor. Esta tarjeta utiliza el bus PCI de la PC. Puede hacer la transferencia de información en tiempo real al sistema de memoria RAM de la PC. Posee capacidades para adquisición estándar de tonos de grises y los estándares NTSC/PAL para señales en color. La tarjeta dispone de cuatro entradas de video para interfaz con hasta cuatro cámaras. Las entradas son seleccionadas por software. El siguiente diagrama muestra los bloques constitutivos del Frame Grabber:

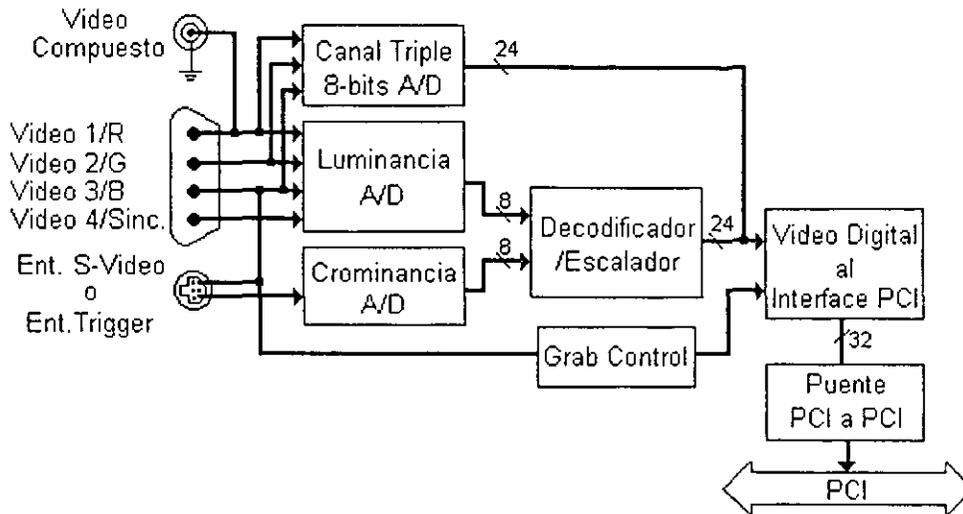


Figura 4.11. Diagrama de bloques del Frame Grabber Matrox Meteor.

La tarjeta de adquisición se puede programar usando la librería MIL-Little desarrollada en lenguaje C e incluida en la tarjeta. MIL-Little posee comandos para adquisición, manipulación de datos, gráficos y controles de despliegue. Es una librería modular e independiente del hardware, puede manipular imágenes en escala de grises y color. Aplicaciones basadas en MIL-Little pueden correr sobre cualquier tarjeta VESA compatible, bajo los ambientes DOS extenders, Windows 3.1, Windows 95, Windows 98 y Windows NT.

## Capítulo 5. Sistema de transmisión de datos digitales de la PC hacia el robot

Este capítulo presenta el tercer sistema electrónico, el cual comprende el transmisor de RF de datos digitales de control, la circuitería de acoplamiento para los datos provenientes del puerto paralelo de la PC para su posterior serialización y transmisión. Tal y como se muestra en la siguiente figura:

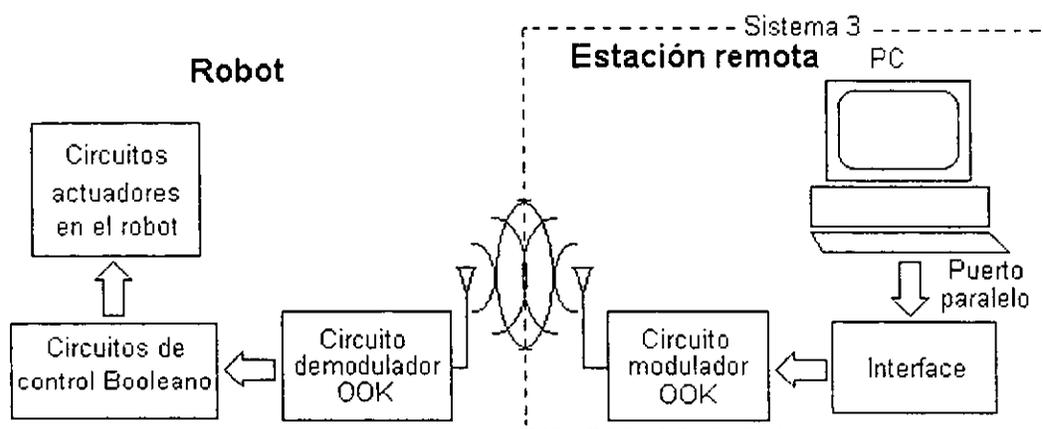


Figura 5.1. Tercer sistema electrónico, comprende la interface de serialización de datos y el modulador OOK.

### 5.1.- Interface con el puerto paralelo y serialización de los datos de control.

Para poder transmitir los datos de control utilizando radio frecuencia, debemos transmitirlos en forma serial; es por esa razón por lo que debemos serializar los datos provenientes del puerto paralelo de la computadora.

Para lograr tal tarea, utilizamos el circuito electrónico mostrado en la siguiente figura:



## 5.2.- Carga de los 3 bytes de datos.

Para mantener la carga de los 3 bytes de datos de control que se transmitirán al robot, utilizamos 3 circuitos SN74LS273 en configuración de registro de corrimiento, tal y como se muestra a continuación:

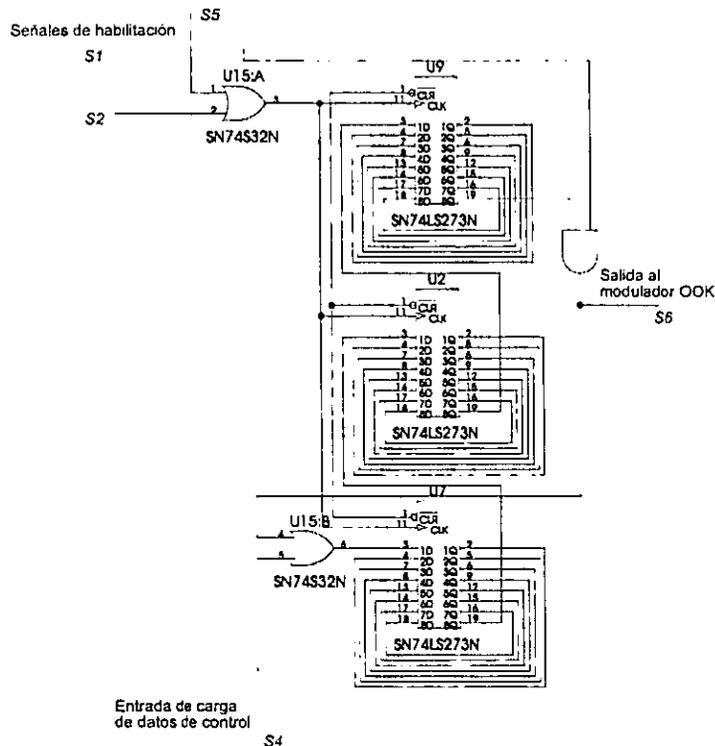


Figura 5.4. Circuitos de carga y retención de los 3 bytes de datos de control.

Estos circuitos son flip-flops tipo D en configuración de registros de corrimiento. De esta manera, podemos almacenar los 3 bytes de datos hasta que llegue el momento preciso para su transmisión por radio frecuencia. Todos los pulsos, señales de activación y habilitación necesarios para el control se logra con las señales de sincronía y la lógica booleana de control.

En el siguiente diagrama de tiempos se observa la sincronía de las señales de control y la carga de los 3 bytes de datos de control que posteriormente serán transmitidos hacia al robot.

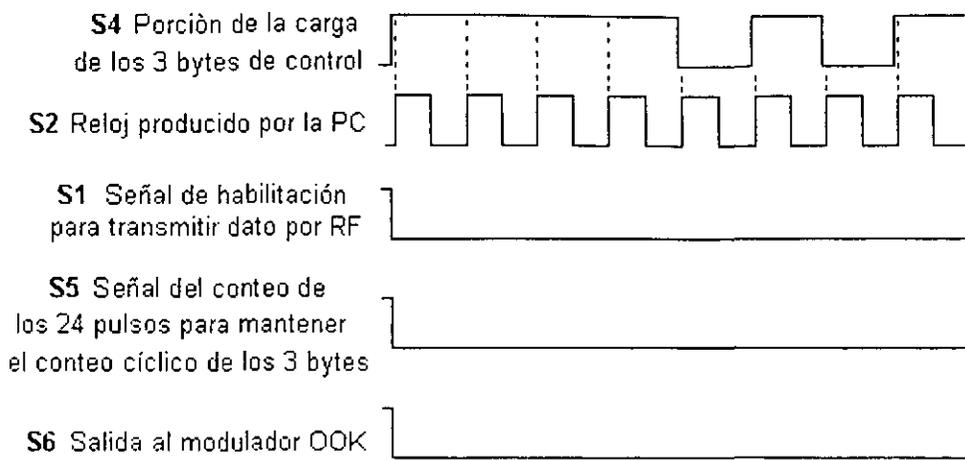


Figura 5.5. Tiempos para el circuito de carga de los 3 bytes de datos de control.

Es evidente que para el caso anterior, sólo se hace la carga de los datos de control a los registros de corrimiento, posteriormente estos datos serán enviados por *RF* al robot.

### 5.3.- Señales de sincronía y lógica Booleana de control.

La generación de las señales de control se logra con la implementación del circuito mostrado en la siguiente figura:

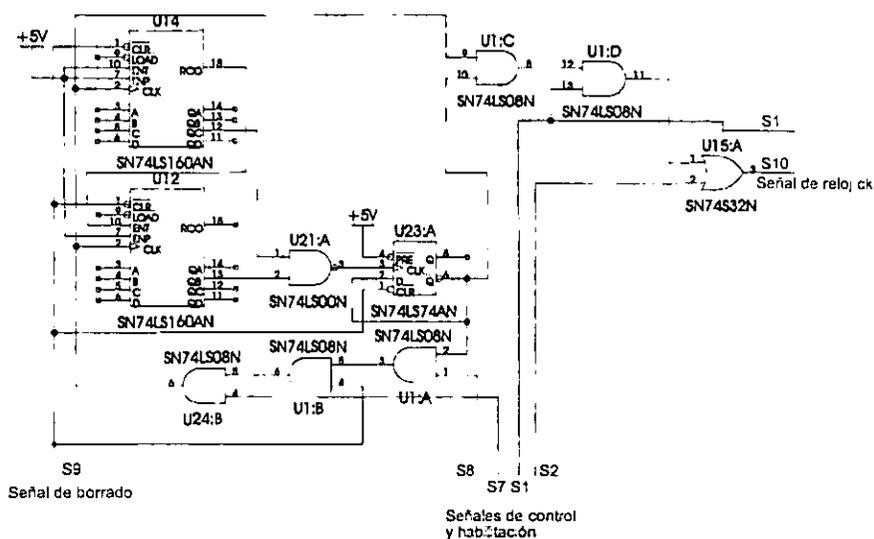


Figura 5.6. Esquemático de la lógica booleana de control.

Utilizamos antes que nada un circuito generador de las señales de sincronía de video LM1881 conectado al demodulador de video, posteriormente dos circuitos contadores SN74LS160 llevan el conteo de las primeras 24 líneas horizontales de video, que sirven como referencias para el corrimiento bit por bit de los datos de control. También utilizamos un flip-flop SN74LS74 en configuración "Toggle" para inicializar la cuenta cada vez que inicia un cuadro de imagen. De esta manera, se logra generar con precisión los 24 pulsos de control para el corrimiento de los 3 bytes de datos previamente cargados en los registros SN74LS273.

Ahora se muestra el diagrama de tiempos de la lógica de control, junto con las señales de carga del diagrama Fig.5.5 y transmisión de los datos de control.

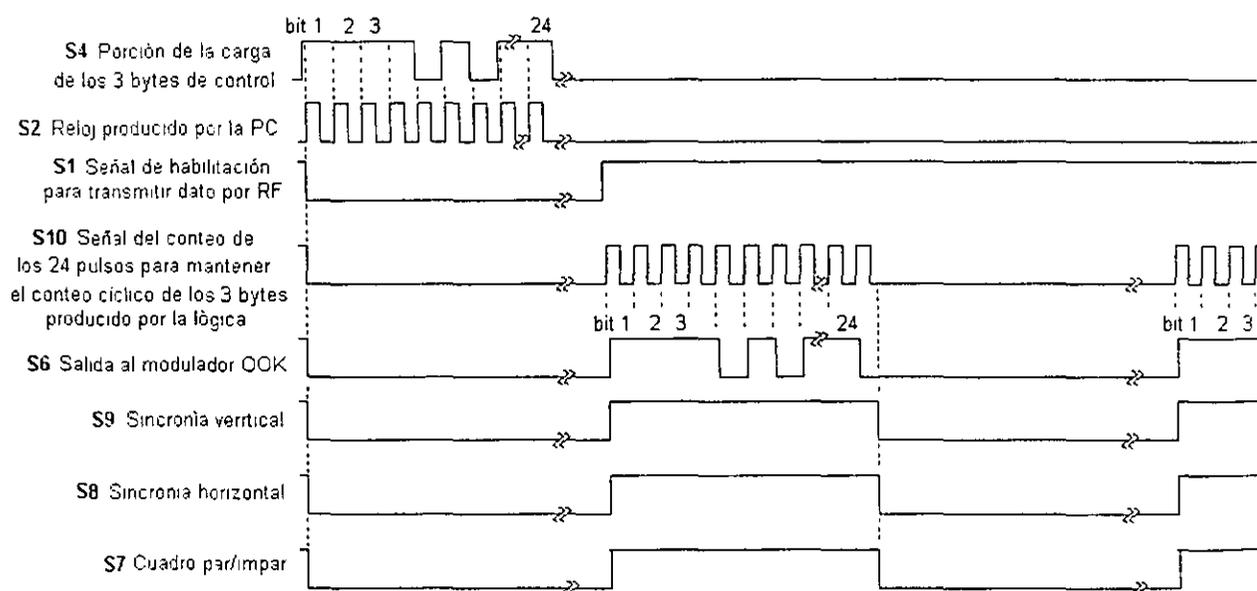


Figura 5.7. Diagrama de tiempos para el conjunto de circuitos de la Fig. 5.6 Y Fig. 5.4.

#### 5.4.- Sistema de transmisión OOK de datos de control.

Para la transmisión por radio frecuencia de los datos digitales provenientes del puerto paralelo, se utilizó un circuito integrado transmisor modelo HX2000 de la marca RFM. Utiliza modulación OOK, que significa modulación de encendido-apagado por llaveo.

Este circuito modulador trabaja a una frecuencia de 916.5 MHz. Su tamaño reducido de 10.67 mm X 9.02 mm, dan como resultado un área pequeña de menos de 1 cm<sup>2</sup> Baja potencia de operación, 3 VDC, drenando sólo 6 mA en promedio, lo cual posibilita su operación con baterías y/o en aplicaciones de bajo consumo. Bajo costo en su implementación, gracias al número reducido de componentes externos requeridos. Potencia de transmisión de 2 mW. Radio medio de operación desde los 3 hasta 60 metros de distancia.

Debido a las características digitales de las señales provenientes de la computadora, este chip y en particular la modulación OOK, se prestan perfectamente para nuestra aplicación.

A continuación se muestra en circuito armado para la transmisión de datos de control.

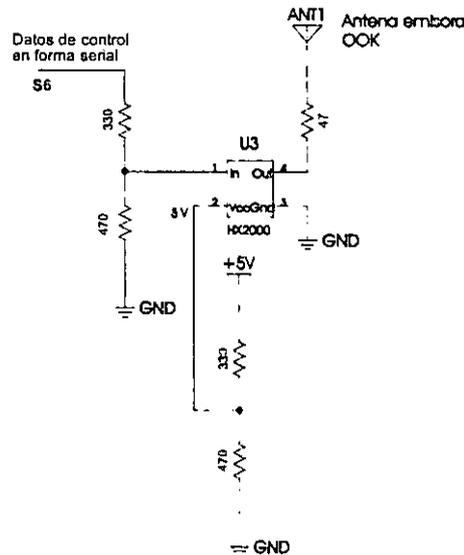


Figura 5.8. Circuito esquemático del transmisor OOK de datos de control.

Podemos observar que se hicieron dos divisores de voltaje; uno de ellos para dar la alimentación de 3 VDC que requiere el transmisor para su funcionamiento. El segundo divisor de voltaje se requiere, ya que para la entrada de datos se admite como

máximo 3V, de esta manera, acoplamos los voltajes de 5 V de la lógica TTL empleada con el voltaje que requiere el HX2000.

### 5.5.- Circuito de suministro de energía.

Para alimentar del voltaje y corriente necesarios para el funcionamiento de toda la electrónica montada en la estación remota, se implementó el circuito siguiente, el cual está constituido por el transformador para la línea de 120 VAC a 12 VAC @ 2A, consta además de un puente rectificador, capacitores para el filtrado o de bypass y un regulador de voltaje integrado, el LM7805:

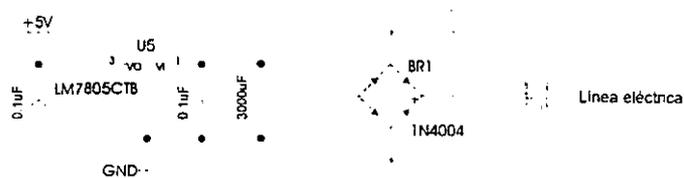


Figura 5.18. Circuito regulador del voltaje de alimentación de toda la circuitería montada en la estación remota.

# Capítulo 6. Sistema de recepción de datos digitales de control en el robot desde la PC.

Este capítulo presenta al cuarto y último sistema electrónico, el cual comprende el receptor demodulador en OOK para las señales que se envían de la PC al robot, además incluye a la circuitería para aplicar esas señales a los sistemas motrices. A continuación se muestra la Fig.6.1 donde representa al cuarto sistema.

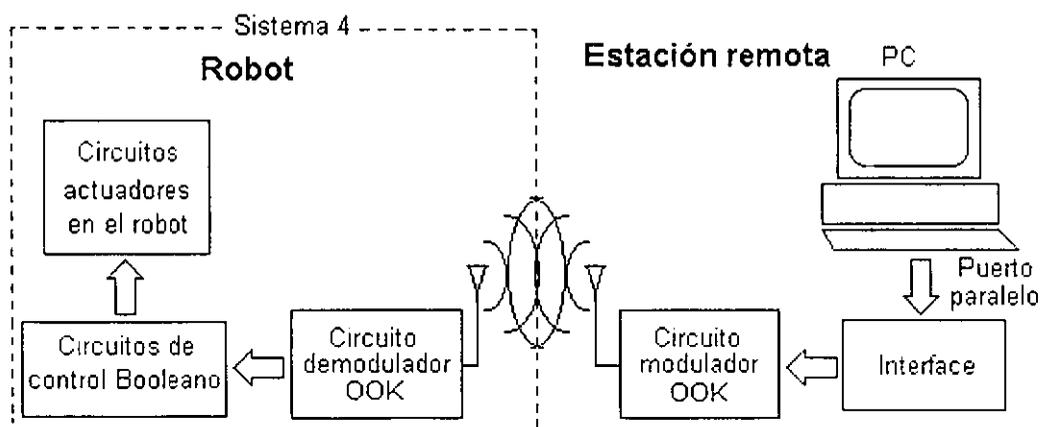


Figura 6.1. Cuarto sistema electrónico.

## 6.1.- Sistema de recepción de datos de control en el robot.

Para el receptor, se utilizó el circuito *RX2020* que trabaja utilizando la demodulación en OOK a una frecuencia de 916.5 MHz. Tiene una capacidad de recepción de datos en su banda base de 20 kbit/s, según la referencia [14].

Este circuito está diseñado para trabajar en condiciones de bajo consumo, ideal para aplicaciones en donde las baterías y demás fuentes de energía son de baja potencia.

A continuación se muestra la implementación hecha del circuito demodulador OOK para datos digitales *RX2020*.

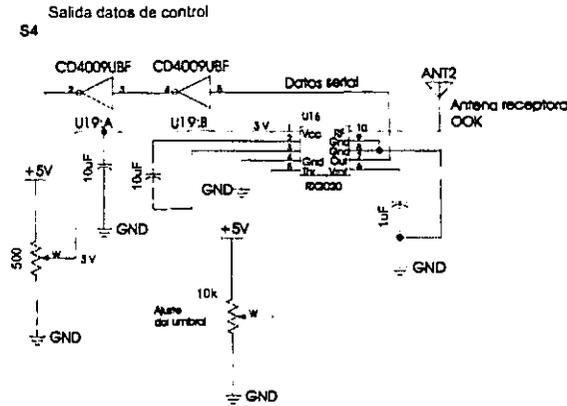


Figura 6.2. Circuito esquemático del receptor OOK para datos de control.

Se observan los componentes mínimos necesarios para activar correctamente al circuito receptor OOK. Cabe mencionar que el ajuste de voltaje de umbral del receptor, tuvo un valor de 2.7 V; es decir, ignora cualquier señal de *RF* presente en el ambiente que no sobrepase ese valor de umbral, además del valor de la frecuencia de la portadora, que es de 916.5 MHz. También vemos que se conectaron en cascada dos inversores tipo MOS *CD4009*, debido a que el circuito demodulador está diseñado para soportar una carga tipo CMOS. A la salida de los mismos, tenemos los datos digitales que serán aplicados más tarde a los sistemas motrices además de los distintos actuadores que pudieran conectarse al robot.

## 6.2.- Sistema de monitoreo de la señal de video y circuito generador de las señales de control.

De manera análoga a la electrónica empleada para generar las señales de control del robot vistas en el capítulo 3, empleamos las señales del circuito LM1881, tal y como se muestra a continuación:

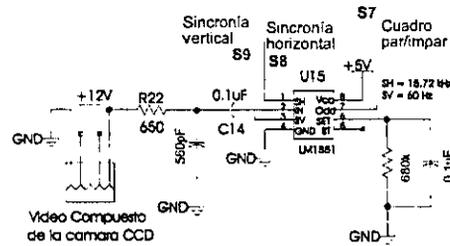


Figura 6.3. Circuito LM1881.

Este circuito recibe la señal de video compuesto proveniente de la cámara CCD, posteriormente genera las señales de sincronía horizontal, sincronía vertical, sincronía de campo par e impar, tal y como se muestra en el siguiente diagrama:

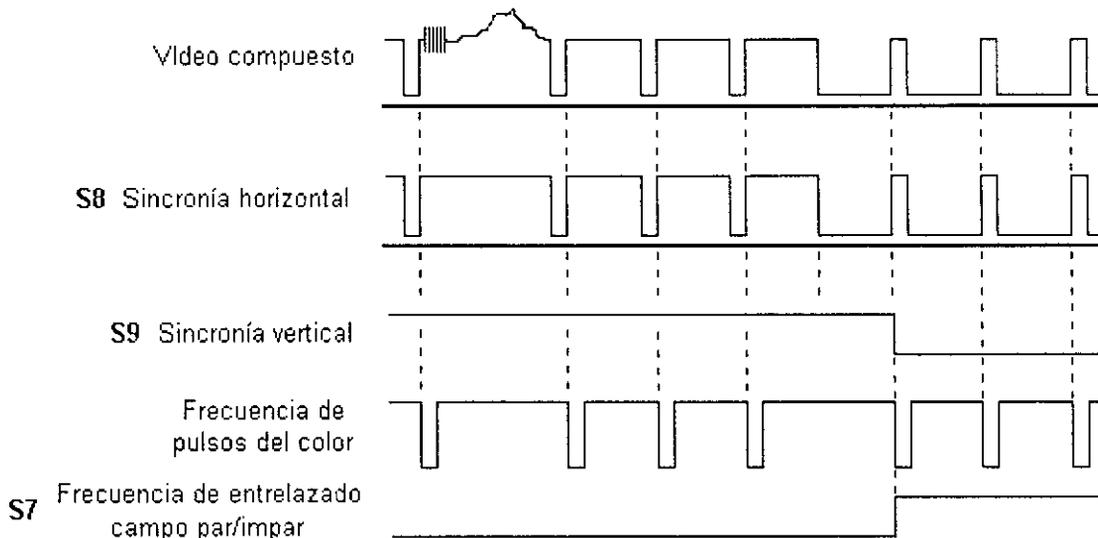


Figura 6.4. Diagrama mostrando las señales de sincronía generadas por el LM1881.

También se implementó la electrónica con contadores SN74LS160 para llevar la cuenta de los 24 pulsos para los 3 bytes de datos que comandan al robot, en la siguiente figura se muestra el circuito implementado:

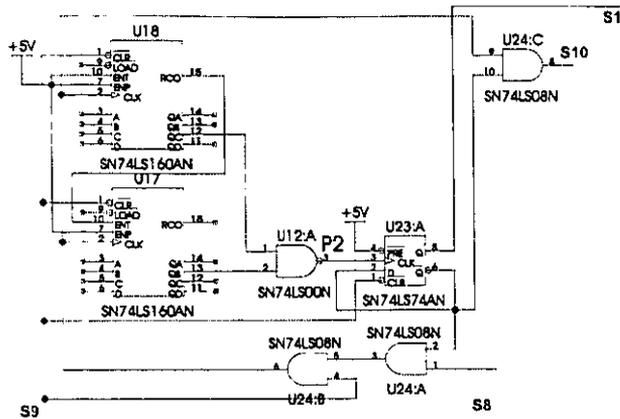


Figura 6.5. Circuito generador de las señales de control en la paralelización de los datos del robot.

En diagrama de tiempos para el circuito anterior se muestra enseguida:

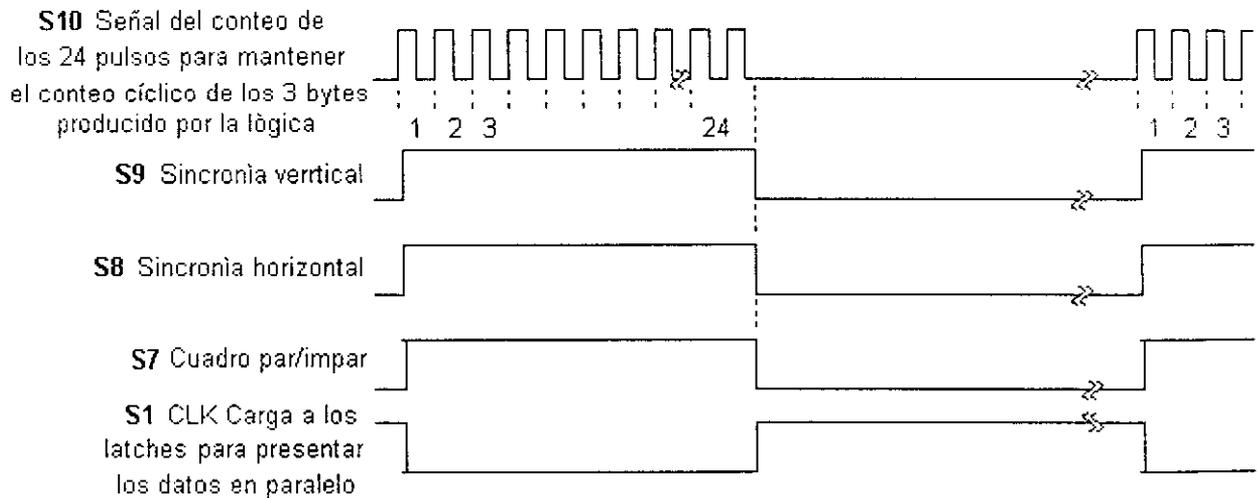


Figura 6.6. Diagrama de tiempos para el circuito de la Fig.6.5.

Debido a la semejanza en la implementación y funcionamiento de los sistemas electrónicos en el robot y la PC es como tenemos sincronía y control preciso entre toda la electrónica utilizada, tanto para el envío de los 3 bytes de datos de la PC al robot, como en la recepción y aplicación de esos datos a los actuadores del robot.

### 6.3.- Paralelización de los datos de control.

Para poder aplicar los datos de control que provienen del demodulador RX2020, debemos paralelizarlos simulando el puerto paralelo RS-232 de la computadora como si estuviera montada en el robot. Para lograr tal objetivo, implementamos el siguiente circuito:

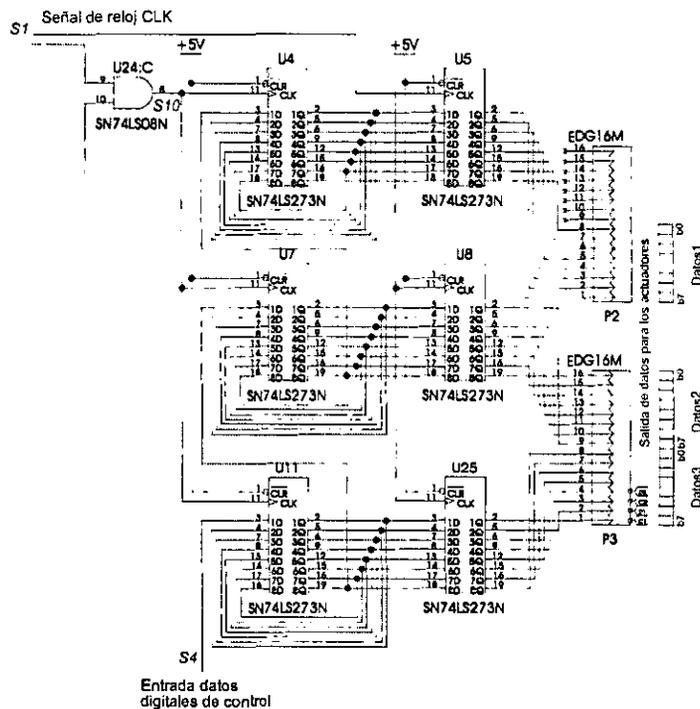


Figura 6.7. Circuito para paralelizar los datos seriales de control provenientes de la PC.

En el diagrama observamos la utilización continua de circuitos latches tipo SN74LS273 conectados en modo de registro de corrimiento; de tal manera, que al cargarse los 3 bytes enviados desde la PC, se procede a la descarga mediante los latches conectados a cada registro.

De esta manera, podemos utilizar los datos de control que deseamos ejecute el robot. En el siguiente diagrama de tiempos, se muestra como se cargan de manera

serial los 3 bytes de datos de control y cómo se obtiene la paralelización de estos mismos datos para ser aplicados a los actuadores del robot:

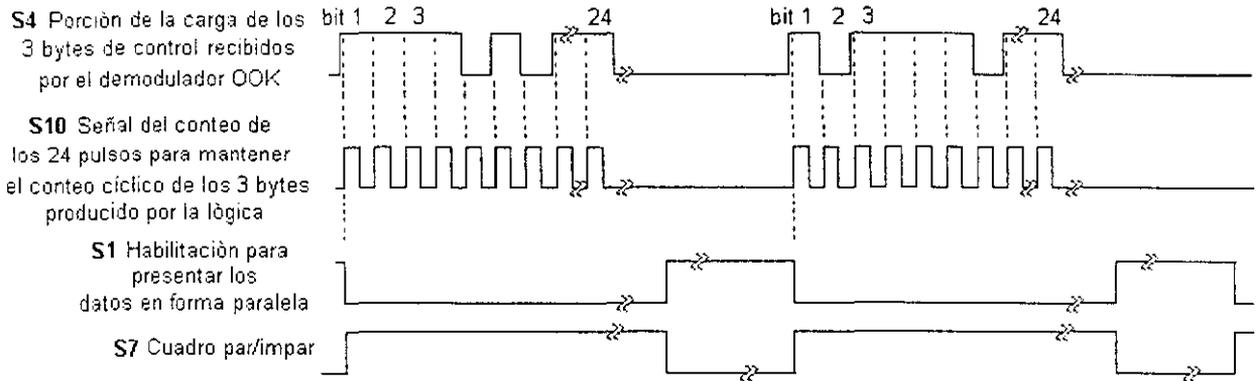


Figura 6.8. Diagrama de tiempos para el circuito de paralelización de datos de control.

#### 6.4.- Sistema motriz.

Para la activación de los dos motores de DC utilizados en el robot, utilizamos un circuito integrado altamente especializado en la activación de dichos motores, el *LM18293*, se trata de un circuito tipo driver de media potencia, es capaz de hacer girar dos motores de DC en ambas direcciones, soporta hasta 1A de corriente de demanda, ver referencia [28], por lo que su utilización es óptima para nuestra aplicación. A continuación se muestra el diagrama interno de dicho circuito.

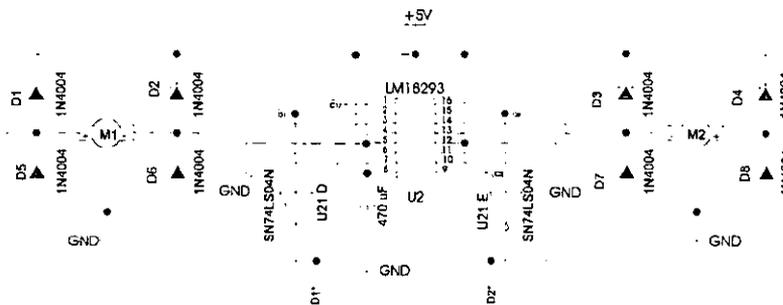


Figura 6.9. Circuito driver LM18293.

Enseguida se muestra la tabla de verdad para el accionamiento de los motores y las señales de comando:

C1 (habilitación)	D1	$\overline{D1}$	Motor 1	C2 (habilitación)	D2	$\overline{D2}$	Motor 2
L	X	X	Apag.	L	X	X	Apag.
H	H	L	Gira der	H	H	L	Gira der
H	L	H	Gira izq	H	L	H	Gira izq

*Figura 6.10. Tabla de verdad para los actuadores motrices del robot.*

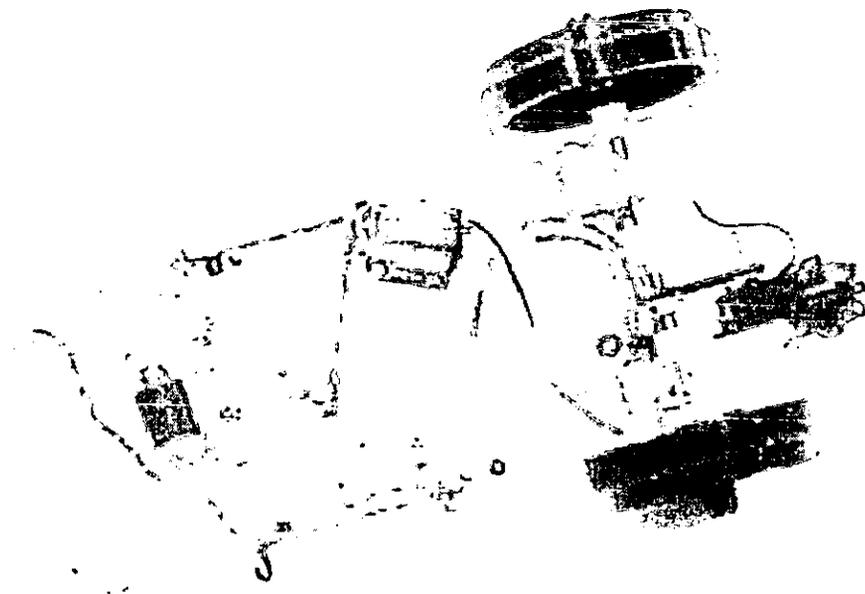
A continuación se muestran algunas fotografías de la montura física en el robot de los sistemas de transmisión y del sistema de dirección:



*Figura 6.11. Fotografía del chasis y la montura de los sistemas motrices.*



*Figura 6.12. Fotografía del chasis y la montura de los sistemas motrices.*



*Figura 6.13. Fotografía del chasis y la montura de los sistemas motrices.*

## 6.5.- Diseño de antenas para aplicaciones de baja potencia.

### Introducción:

Un buen diseño de antenas es requerido para lograr un buen desempeño. Para obtener esto, el buen diseñador debe tener una idea de cómo trabaja una antena y qué consideraciones son importantes a la hora de hacer su diseño, ver referencia [27].

Algunos términos importantes son:

**Longitud de onda:** Importante para determinar la longitud de la antena, ésta es la distancia que la onda electromagnética toma para completar un ciclo. Esta longitud es inversamente proporcional a la frecuencia.

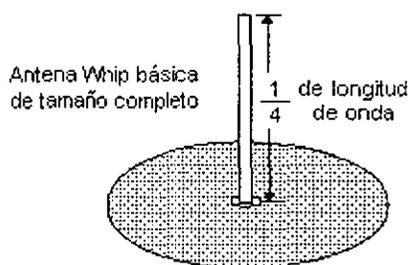
**Plano de tierra:** el área de un conductor sólido. Esta es usualmente usada en circuitos transmisores y receptores de radio frecuencia. Un ejemplo, es donde la mayor parte de las trazas pueden rutearse sobre la parte superior, y la base puede ser mayormente una área de cobre. El plano de tierra ayuda a reducir pérdidas en las reactancias y en la señal de emisión. Por supuesto, una línea de antena necesita correr a lo largo del plano de tierra.

**dB o decibel:** usado como una escala logarítmica para mostrar ganancia en potencia o pérdida en un circuito. +3 dB es el doble de la potencia, mientras que -3 dB es la mitad. Si se toman 6 dB es el doble o la mitad de la distancia, debido a la ley cuadrada inversa.

Una antena puede ser definida como cualquier alambre o conductor, que transporta una corriente alterna o corriente pulsante. Así como una corriente puede generar un campo electromagnético alrededor del alambre y que el campo puede pulsar y variar tal y como la hace la corriente. Si otro alambre es puesto en las cercanías del primero, las líneas del campo electromagnético cruzan este alambre e inducen una

corriente eléctrica que es una copia de la corriente original. Si el alambre es relativamente largo, en términos de la longitud de onda, puede radiar más del campo a largas distancias.

La antena más sencilla es la "Whip". Ésta es de un cuarto de longitud de onda sobre el plano de tierra. Los ejemplos más comunes los encontramos en los automóviles y son usadas para las radios, CB, radio aficionados y en teléfonos celulares.



*Figura 6.14. Esquema de una antena unipolar tipo Whip y su plano de tierra.*

Este diseño data desde 1890 cuando Marconi probó y usó este diseño para mostrar que las ondas de radio podían viajar grandes distancias. Así, encontró que el alambre trabajaba mucho mejor si se le colocaba sobre el plano de tierra.

Todas las antenas, como cualquier componente electrónico, tiene por lo menos dos puntos de conexión. En el caso de la antena Whip, tiene que haber una conexión a tierra. La antena Whip y el plano de tierra combinados forman el circuito completo.

### **Características de las antenas:**

**Ganancia:** Una antena que irradia pobremente tiene una ganancia baja. La ganancia de la antena es una medida de qué tan fuerte irradia la antena en comparación a otra antena de referencia, como un dipolo. Un dipolo es similar a una antena Whip, pero el plano de tierra es reemplazado por otro alambre de un cuarto de longitud de onda.

**Patrón de radiación:** La radiación es máxima desde la perspectiva lateral o "broadside", o sea, desde la parte perpendicular al alambre, por lo tanto, un alambre vertical o la antena tipo Whip es ideal para comunicaciones en cualquier dirección, excepto desde su parte vertical. Esta característica la observamos en la Fig.6.15, donde se muestra el patrón de radiación de una antena en particular:

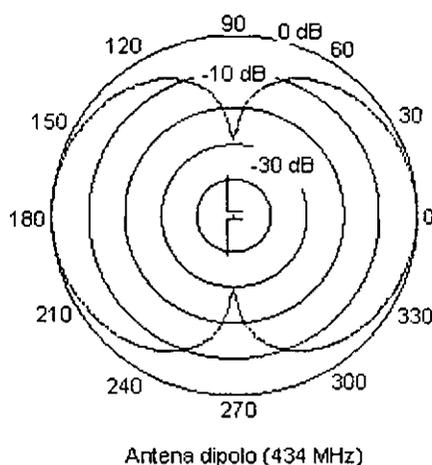


Figura 6.15. Campo de radiación.

**Polarización :** una antena polarizada horizontalmente puede no comunicar ocasionalmente con una Whip vertical. En el medio real, los objetos de metal y la tierra pueden causar reflexiones, y pueden causar que se presenten señales polarizadas horizontal y verticalmente.

**Impedancia :** Otra consideración importante es qué tan bien puede un transmisor dar su potencia a una antena. Si un transmisor o receptor está diseñado para una carga de  $50 \Omega$ , la antena debe tener una impedancia cercana a los  $50 \Omega$  para obtener óptimos resultados. Una antena tipo Whip fuera del plano de tierra, tiene aproximadamente  $35\Omega$

A continuación se muestran algunas alternativas de antenas y características principales:

- **Antena Whip corta:** Una alternativa simple a la antena Whip original, es la Whip corta, que además incorpora una pequeña inductancia cerca de la base, esto para compensar la alta reactancia capacitiva del alambre que forma la antena. Este tipo de antena puede tener un desempeño muy similar a su original de tamaño completo.

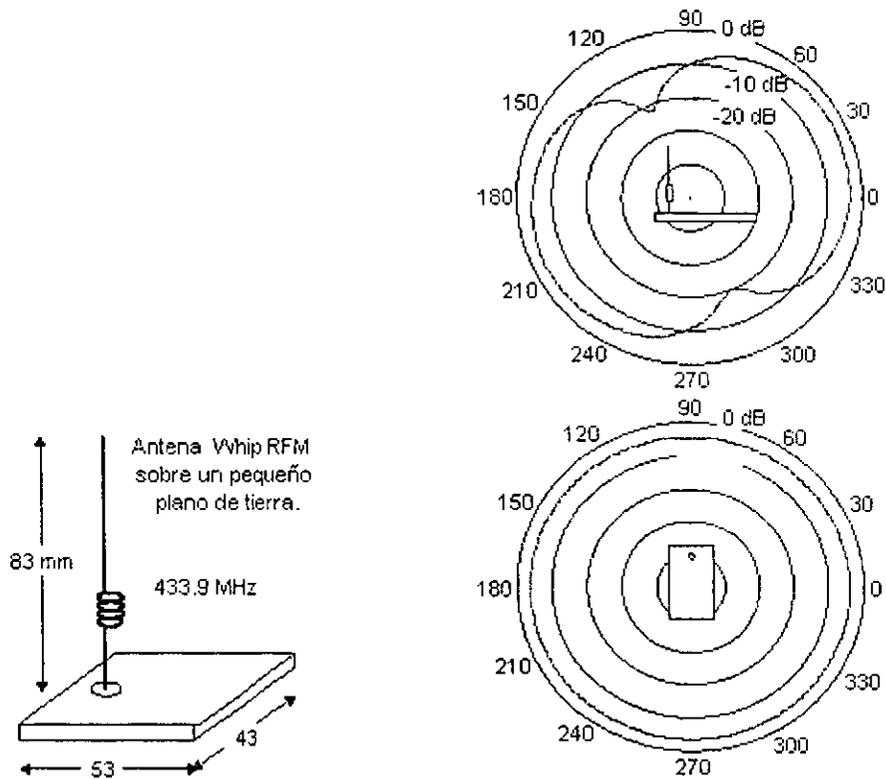


Figura 6.16. Antena Whip de RFM con su plano de tierra y patrón de radiación.

A manera de ilustrar se muestra solamente los impresos de otras antenas:

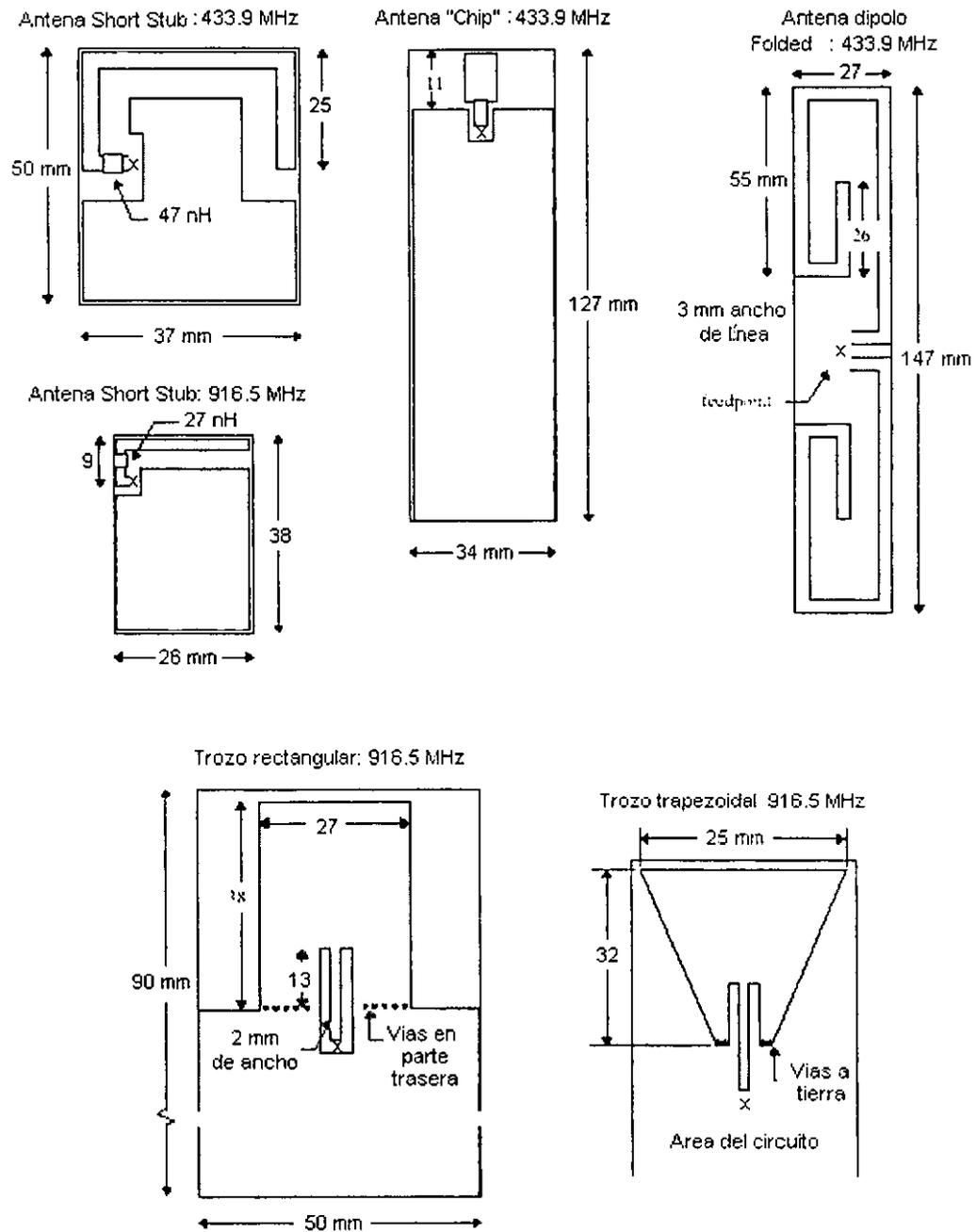


Figura 6.17. Diversos modelos de antenas para aplicaciones de baja potencia y altas frecuencias.

**Otras consideraciones:** Cuidados especiales deben de tomarse al tener metales cerca de una antena. Si una superficie conductora es grande, en términos de la longitud de

onda (la mitad o más grande), es posible que esa superficie actúe como una superficie reflectora, provocando que la antena no radie o reciba las señales correctamente de algunas direcciones. Una antena no debe encontrarse dentro de un recinto conductor o caja metálica (jaula de Faraday), de ser necesario, se requerirá de una antena externa.

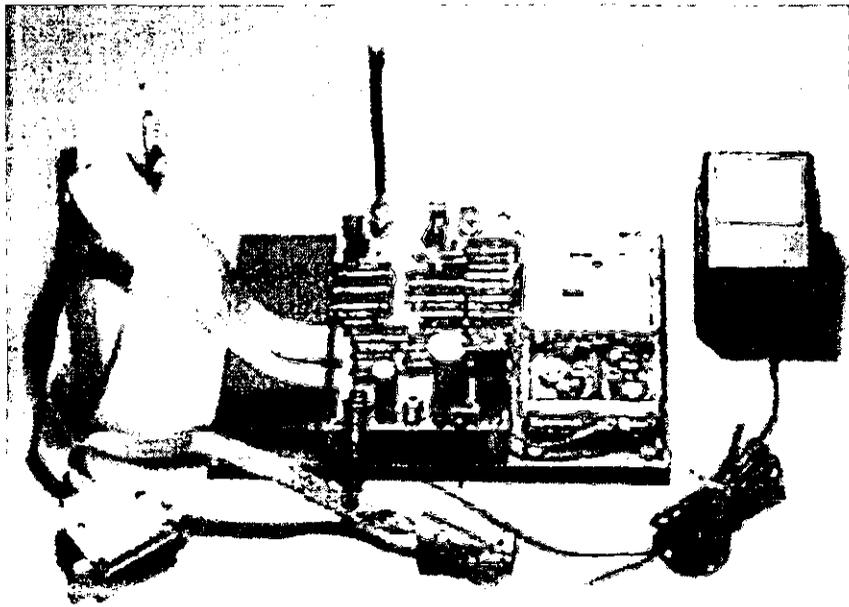
***Pruebas y sintonización:*** El desempeño de la recepción puede verse afectada debido a circuitos digitales. El conmutado digital es muy rápido y provoca ruido de alta frecuencia que en un momento dado, puede causar interferencia. Para minimizar estas molestias, se recomienda aislar los circuitos digitales y de sintonía en cajas de Faraday de las antenas receptoras y emisoras. Si se usa una antena externa, entonces utilizar cable coaxial.

## Capítulo 7. Descripción del funcionamiento del sistema completo.

En este último capítulo se presenta a todos los sistemas funcionando en conjunto, se realizan pruebas y presentan resultados para poder apreciar el desempeño de los cuatro sistemas electrónicos de los que está compuesto el robot y la electrónica de control desde la PC.

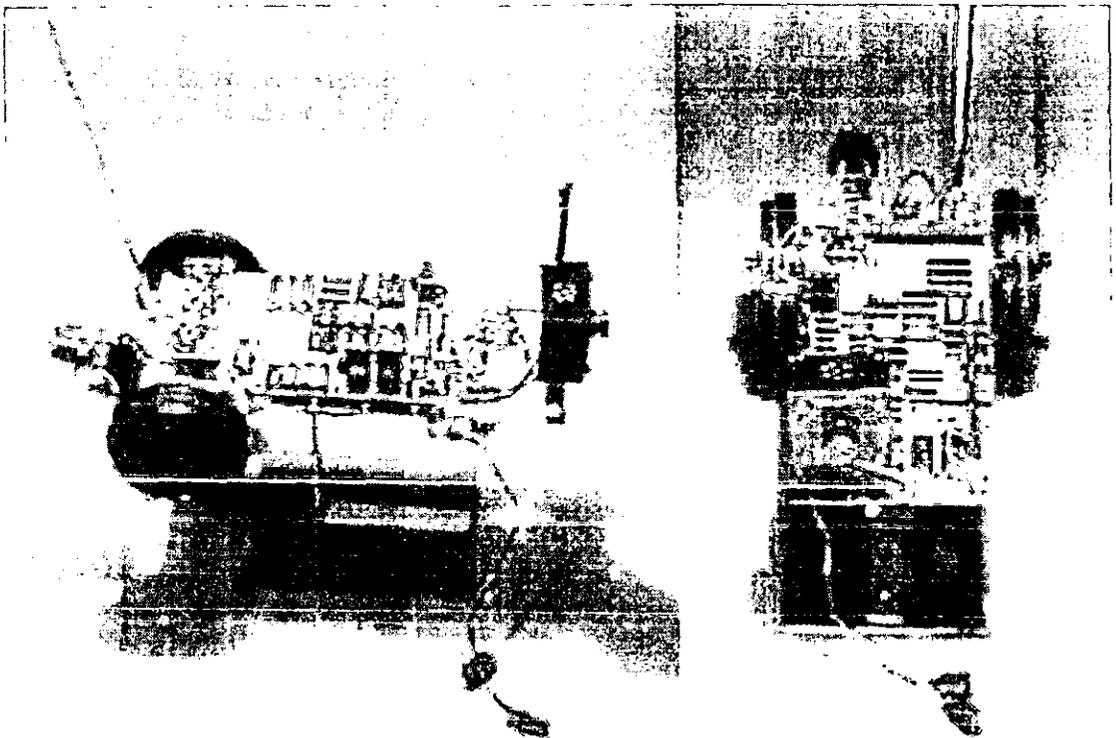
### 7.1.- Presentación del sistema completo.

A continuación se muestra la implementación electrónica de todos los sistemas. En primer lugar, se muestra en la Fig.7.1 a la electrónica ubicada en la estación remota, que comprende a los sistemas 2 y 3, es decir, la electrónica receptora del video y datos IGER y la electrónica de emisión de datos digitales de control para el robot.



*Figura 7.1. Circuito electrónico ubicado en la estación remota junto a la PC.*

En la imagen siguiente se muestra al robot con su electrónica completa. Como se ha mencionado con anterioridad, ésta comprende a los sistemas 1 y 4, es decir, el modulador de video que trabaja a 83.5 MHz en AM tipo VSB, además comprende la electrónica del sensado de los actuadores y la mezcla con el video; y finalmente el sistema de recepción por *RF* y aplicación a los actuadores de los datos digitales modulados en OOK a 916.5 MHz.



*Figura 7.2. Vista de frente y lateral de los circuitos electrónicos montados en el robot.*

## **7.2.- Circuitos esquemáticos.**

A continuación se muestran los diagramas esquemáticos de los circuitos electrónicos, tanto para el robot como para la PC en la estación remota.

### 7.3.- Circuitos impresos.

A continuación se muestran los circuitos electrónicos impresos de los circuitos electrónicos, tanto para el robot como para la PC en la estación remota.

### 7.4.- Programa de simulación y de control del robot.

Se realizó un programa para controlar el robot. Este programa permite ordenar y controlar al robot para que realice las tareas de avanzar, retroceder, girar hacia la izquierda y girar hacia la derecha; además de que es posible enviar paquetes de 3 bytes de datos arbitrarios, los cuales pudieran controlar algún otro periférico.

A continuación se muestra la interface realizada:

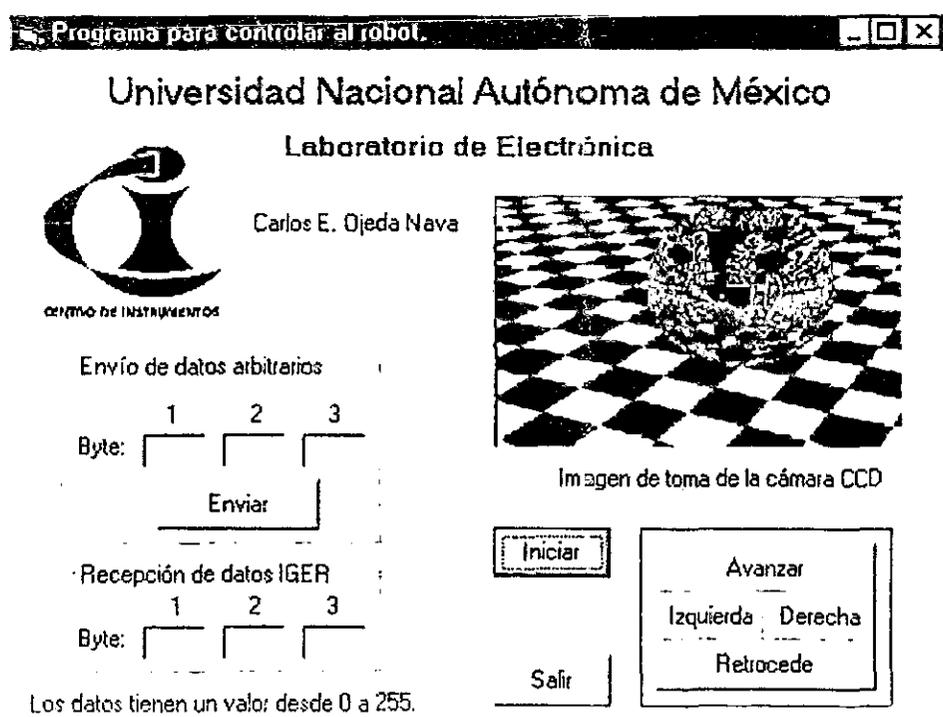


Figura 7.3. Interface diseñada para el control del robot.

Este programa fue realizado en Visual Basic 6.0 y a continuación se muestra el código escrito para realizarlo:

```
Dim Dato1 As Integer, Dato2 As Integer, Dato3 As Integer
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
    Dato1 = 0
```

```
    Dato2 = 0
```

```
    Dato3 = 93          'Dato de avanza
```

```
    Comando Dato1, Dato2, Dato3
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
```

```
    Dato1 = 0
```

```
    Dato2 = 0
```

```
    Dato3 = 170        ' Dato gira izquierda
```

```
    Comando Dato1, Dato2, Dato3
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()
```

```
    Dato1 = 0
```

```
    Dato2 = 0
```

```
    Dato3 = 92          'Dato gira derecha
```

```
    Comando Dato1, Dato2, Dato3
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click()
```

```
    Dato1 = 0
```

```
    Dato2 = 0
```

```
    Dato3 = 96          'Dato retroceder
```

```
    Comando Dato1, Dato2, Dato3
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command5_Click()
```

```
    Dato1 = CByte(Text1.Text)  'Dato1 arbitrario
```

```
    Dato2 = CByte(Text2.Text)  'Dato2 arbitrario
```

```
Dato3 = CByte(Text3.Text) 'Dato3 arbitrario
Comando Dato1, Dato2, Dato3
End Sub
```

```
Private Sub Command6_Click()
End
End Sub
```

```
Public Sub Comando(Dato1, Dato2, Dato3)
IOOcx1.WritelO (Dato1)
IOOcx2.WritelO (8)
IOOcx2.WritelO (0)
IOOcx2.WritelO (8)
For A = 1 To 8
IOOcx2.WritelO (9)
For B = 1 To 5000: Next B
IOOcx2.WritelO (8)
For B = 1 To 5000: Next B
Next A
```

```
IOOcx1.WritelO (Dato2)
IOOcx2.WritelO (8)
IOOcx2.WritelO (0)
IOOcx2.WritelO (8)
For A = 1 To 8
IOOcx2.WritelO (9)
For B = 1 To 5000: Next B
IOOcx2.WritelO (8)
For B = 1 To 5000: Next B
Next A
```

```
IOOcx1.WritelO (Dato3)
IOOcx2.WritelO (8)
IOOcx2.WritelO (0)
IOOcx2.WritelO (8)
For A = 1 To 8
IOOcx2.WritelO (9)
```

```

For B = 1 To 5000: Next B
IOOcx2.WriteIO (8)
For B = 1 To 5000: Next B
Next A

IOOcx2.WriteIO (2)
End Sub

```

Como se aprecia, el código atiende y realiza las funciones mínimas requeridas para lograr el control de toda la electrónica implementada, tanto en la PC como en el robot.

### 7.5.- Pruebas del sistema de transmisión y recepción del video y datos IGER.

A continuación se muestra el funcionamiento del sistema de transmisión y el sistema de recepción de datos digitales de control que se transmiten desde la PC hacia el robot, tales sistemas representan al sistema 1 y al sistema 2, tal y como se muestra en la siguiente figura:

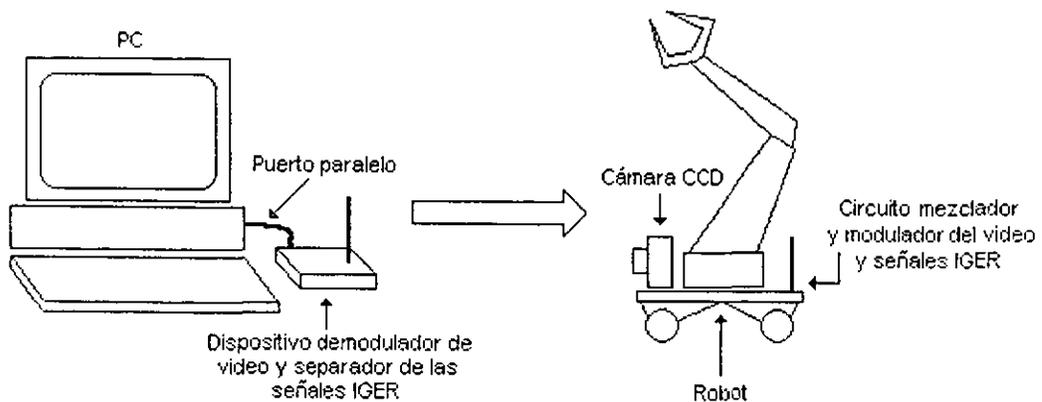


Figura 7.4. Ilustración de prueba de los sistemas 1 y 2.

El sistema de adquisición de video siempre está trabajando, a continuación se muestra una imagen del Laboratorio de Electrónica del CI; esta imagen se captó a la salida de la cámara CCD, es decir antes de modularla y transmitirla



*Figura 7.5. Imagen mostrando una vista parcial del Laboratorio de Electrónica del CI.*

Ahora se muestra la misma escena pero desde la estación remota, es decir, la imagen fue transmitida y recibida por *RF*, para finalmente presentada leída por la tarjeta de adquisición de video (frame grabber):



*Figura 7.6. Imagen demodulada en la estación remota.*

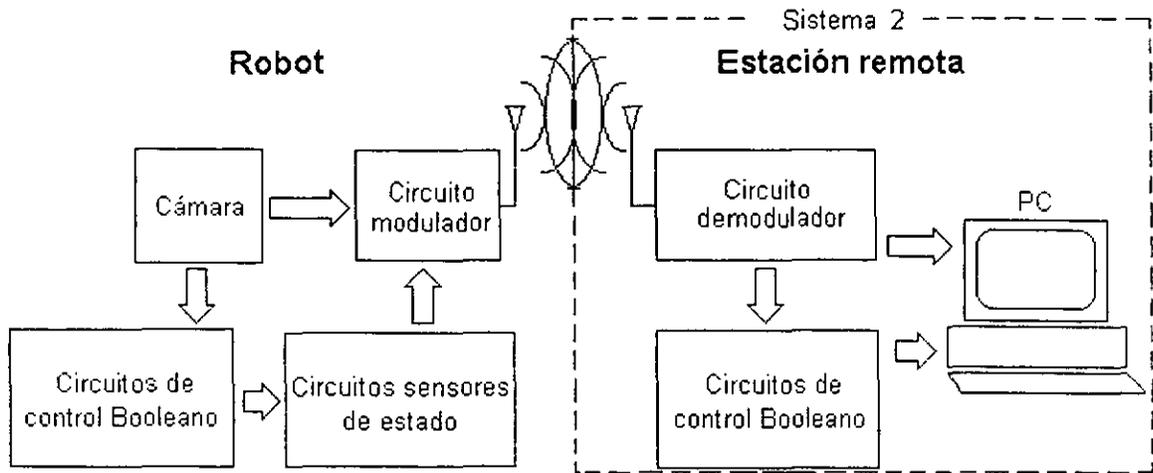


Figura 7.7. Esquema mostrando una imagen, a la izquierda está la imagen captada en el robot, y a la derecha captada en la estación remota.

En lo referente a la transmisión y recepción de datos IGER provenientes del robot a la PC, mostramos el siguiente oscilograma:

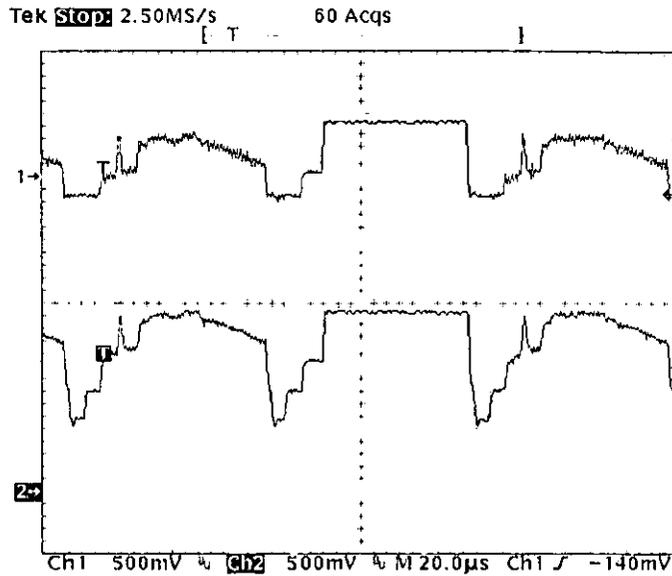


Figura 7.8. Oscilograma mostrando una señal digital IGER insertada en el video del robot y la misma señal recortada de las señales de sincronía recuperada en la PC.

### 7.6.- Pruebas del sistema de envío y recepción de datos digitales de control.

A continuación se muestra el funcionamiento del sistema de transmisión y el sistema de recepción de datos digitales de control que se transmiten desde la PC hacia el robot, tales sistemas representan al sistema 3 y al sistema 4, tal y como se muestra en la siguiente figura:

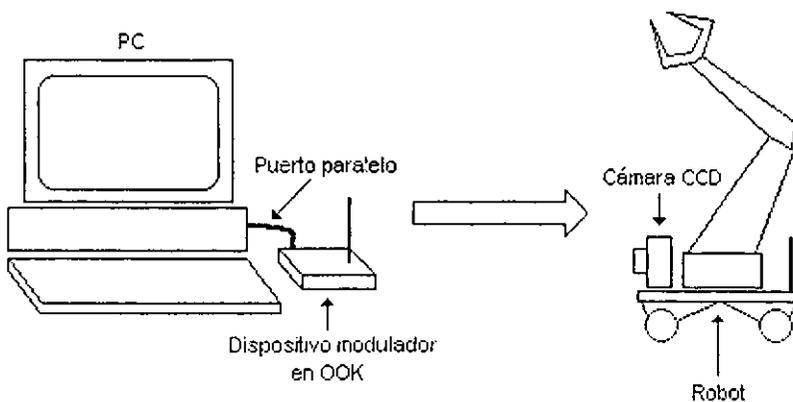


Figura 7.5. Ilustración de prueba de los sistemas 3 y 4.

Los 3 bytes de información de control que se envía de la PC al robot, tienen la forma de la Fig.7.6, en donde se muestra un ejemplo de un paquete con datos arbitrarios, es decir, el usuario deseó transmitir esos datos:

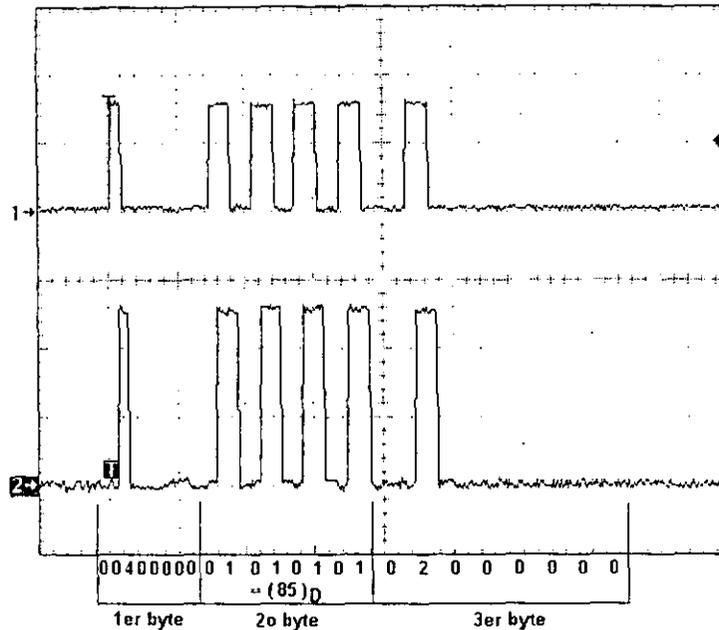


Figura 7.6. Ilustración de prueba mostrando el paquete de 3 bytes de datos arbitrarios.

En la figura anterior se ilustró la manera en que son enviados los datos de la PC al robot, dependiendo de estos datos, pueden controlar a los sistemas motrices o cualquier otro dispositivo que se conecte. Se aprecia el ancho de cada byte, el cual está definido por el ancho.

Para ejemplificar el funcionamiento, se muestran las gráficas de 4 paquetes de datos arbitrarios, cabe recordar que cada paquete consta de 3 bytes de datos digitales. En las gráficas se observa que el canal 1 del osciloscopio está conectado al sistema 3, o sea, al sistema conectado a la PC; en el canal 4 se conectó la electrónica receptora del robot.

Enseguida se mostrarán las gráficas adquiridas por un osciloscopio Tektronix modelo TDS420A, en donde, en el canal 1 se conectó la electrónica de la PC y en el

canal 2 se conectó la electrónica montada en el robot. En la Fig.7.5a se muestra el envío y recepción del paquete de 3 bytes con los datos (4,4,4), en la Fig.7.5b el paquete (4,85,2), en la Fig.7.5c el paquete (128,5,198) y en la Fig.7.5d el paquete (8,1,201).

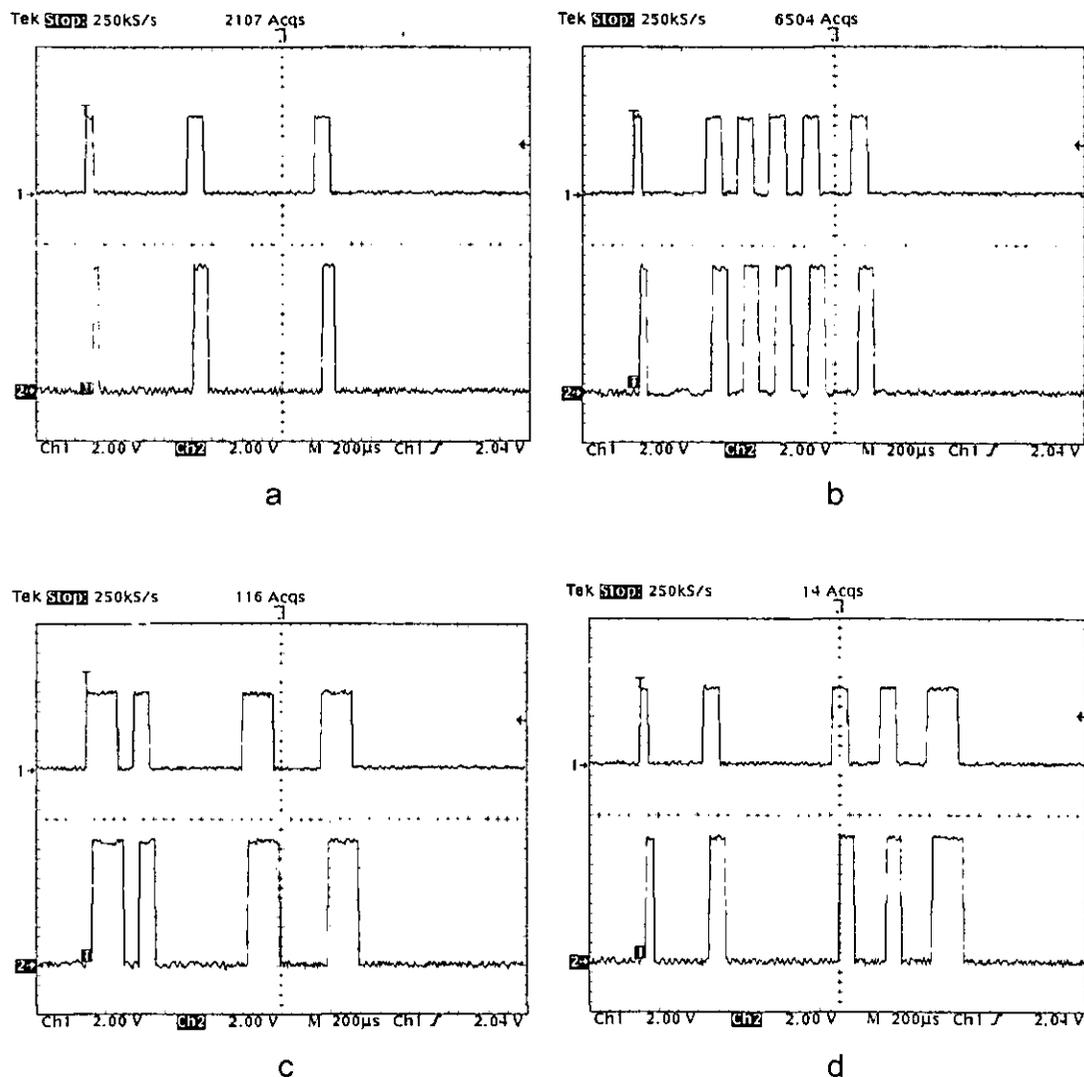


Figura 7.5. Gráficas de osciloscopio donde se aprecian cuatro paquetes de datos arbitrarios. Gráfica **a** con valor de (4,4,4), gráfica **b** con valor (4,85,2), gráfica **c** con valor (128,8,198) y gráfica **d** con valor (8,1,201).

Una vez hechas las pruebas con los datos arbitrarios, se procedió posteriormente con la prueba de enviar datos de control en concreto. A continuación se muestra los

paquetes de 3 bytes de datos digitales que representan las cuatro órdenes básicas o comandos para controlar el robot: avanza, retrocede, gira a la izquierda y gira a la derecha. Tales órdenes son los paquetes con valores: (4,0,12), (4,0,8), (4,0,2) y (4,0,3); tal y como se ilustra en la Fig.7.6 con **a**, **b**, **c** y **d** respectivamente.

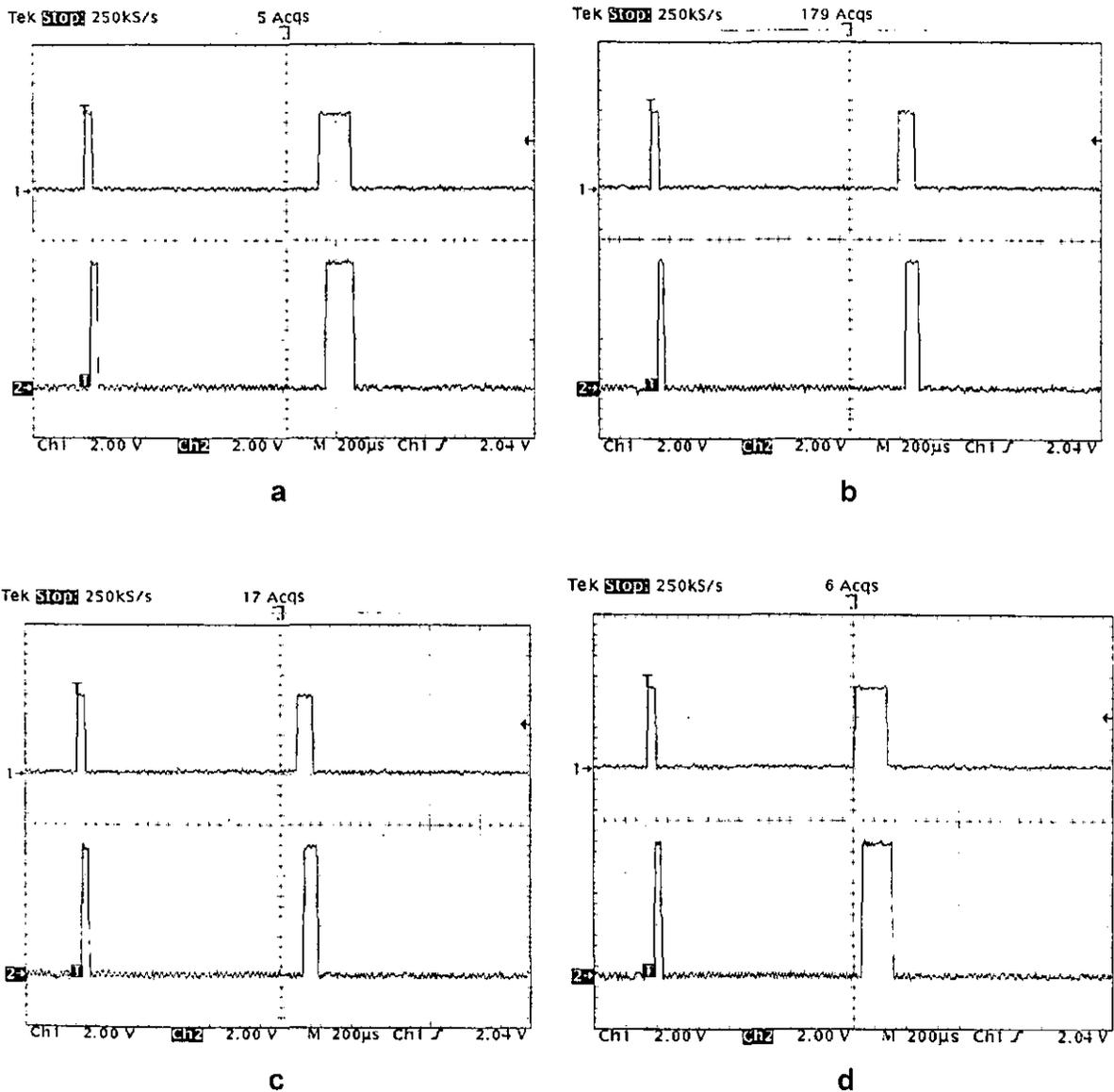


Figura 7.6. Gráficas de osciloscopio donde se aprecian los cuatro comandos de control básicos para el robot. Gráfica **a** con valor de (4,0,12)= avanza, gráfica **b** con valor (4,0,8)= retrocede, gráfica **c** con valor (4,0,2)= gira a la izquierda y gráfica **d** con valor (4,0,3)= gira a la derecha.

Cabe mencionar que para poder apreciar el ancho y la posición de los pulsos de control, se agregó un primer pulso con valor de 4, el cual se aprecia a la izquierda de las gráficas.

## Conclusiones:

En lo referente a los sistemas 1 y 2; que comprenden la adquisición del video de la cámara, adquisición de los datos IGER de los sensores, la mezcla y modulación de ambas señales para finalmente recibirla en la estación remota, demodularla y separar ambas señales para su posterior lectura; resultó medianamente satisfactoria, debido a que resultó un tanto difícil el manejo de las señales de video por sus características al momento de realizar la mezcla con las señales IGER del robot, obtuvimos una mezcla y lectura de estos datos con un desempeño que seguramente podríamos mejorar haciendo una mejor implementación electrónica y construyendo una caja de Faraday para toda la electrónica, que constantemente se vió afectada por ruidos de interferencia. Cabe mencionar, que el análisis y entendimiento de la problemática, junto con sus posibles soluciones, nos dan la pauta para poder diseñar e implementar sistemas más sofisticados y adecuados que respondan con mayor satisfacción a los requerimientos que un momento dado pudieran plantearse en el futuro.

Observamos que el funcionamiento en conjunto de los sistemas 3 y 4 fue altamente satisfactorio, esta apreciación deriva del hecho de que toda la lógica de control, la electrónica de paralelización, serialización y demás submódulos diseñados e implementados, deben su precisión y desempeño a las señales de control que son generadoras por los circuitos LM1881, además de los circuitos de transmisión y de recepción de modulación digital OOK de la empresa *RFM*.

Cabe mencionar que las aplicaciones que un sistema como el implementado puede tener son realmente muy grandes, ya que desde un principio se pretendió el poder controlar diversos actuadores; en nuestro caso, controlar motores de DC como sistema motriz para un robot; además simulamos en cierta forma el potencial que nos proporciona una PC montada en el robot, debido a la transmisión y recepción de datos digitales, tanto de los actuadores y demás dispositivos extras que pueden conectársele, como los datos de control que se envían desde la PC en la estación remota.

Podemos hablar de aplicaciones en donde se requiera la manipulación o control de objetos a distancias en las cuales resulta impráctico o imposible el tender los cables; por tales motivos utilizamos *RF*. En la estación remota, podemos tener conocimiento del aspecto del medio ambiente que impera en donde está el robot, gracias a que también se transmite por *RF* la señal de video proveniente de una video cámara CCD instalada en el robot.

# Glosario de términos:

**ADC** : convertidor analógico digital.

**AGC**: control de ganancia automático (Automatic Gain Control).

**AM** : amplitud modulada.

**ASK** : modulación por llaveo en amplitud (Amplitude-Shift Keying).

**CCD** : (Charge Coupled Device).

**DSB** : modulación de doble banda lateral (Double Side Band).

**DPSK** : modulación por llaveo en fase profunda (Deep Phase Shift Keying).

**EHF** : extrema alta frecuencia (Extreme High Frequency).

**HF** : alta frecuencia (High Frequency).

**IGER** : Información General del Estado del Robot.

**FM** : frecuencia modulada.

**FSK** : modulación por llaveo en frecuencia (Frequency-Shift Keying).

**MF** : media frecuencia (Medium Frequency).

**NTSC** : Comité para Sistemas de Televisión Nacional (National Television System Committee).

**OOK** : modulación de encendido-apagado (On-Off Keying).

**OOSK** : modulación de encendido apagado por llaveo (On-Off Shift Keying).

**PCM** : modulación de código por pulso (Pulse Code Modulated)

**PM** : modulación en fase (Phase Modulated).

**PSK** : modulación por llaveo en fase (Phase-Shift Keying).

**RF** : radio frecuencia.

**RGB signal** : Señal de video compuesto (Red Green Blue signal).

**SNR** : Cociente señal-radio (Signal-Noise Ratio).

**SSB** : modulación de banda lateral única (Single Side Band).

**SHF** : super alta frecuencia (Super High Frequency).

**VHF** : muy alta frecuencia (Very High Frequency).

**VSB-AM** : modulación en amplitud en banda lateral marginal (Vestigial Side Band AM).

# Material consultado

## Bibliografía:

- [1] Connor, F.R. Modulation. Introductory Topics in Electronics and Telecommunication. 2ª Edition. Ed. Edward Arnold. 1984.
- [2] Craig Peacock's. Interfacing the PC. Ed. Prentice Hall. 1987.
- [3] Ferrel G. Stremler. Introduction to Communication Systems. Ed. Adison-Wesley Publishing Company. 1990.
- [4] Haykin, Simon. An Introduction to Analog and Digital Communication.
- [5] Keenan, Robert. Linx Technologies. 1089 Medford Center, Bldg. 137.
- [6] Krauss, Herbert L; Bostion, Charles W; Raab, Frederick H. Solid State Radio Engineering.
- [7] Peebles, Jr., Peyton Z., Digital Communication Systems. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1987.
- [8] Schoenbeck Robert J. Electronic Communications. Modulation and Transmission. 1ª Edición. Ed. Merrill Publishing Company. 1988.
- [9] Van Wezel, King. Video Handbook. Ed. Newnes Technical Books. Newnes Technical Books.

[10] Walton, D., P.C.B. Layout for High-Speed Schottky TTL.

[11] Zwick & Davidson. TV Repair for Beginners. 4ª edition. Ed. McGraw Hill.

### **Manuales y folletos:**

[12] Manual Main Board. Pentium MMX.

[13] National Advanced Bipolar Logic Databook.  
FAST/FASTr, ALS, AS. National Semiconductor. 1995.

[14] National Application Specific Analog Products Databook.  
Audio, Automotive, Video, Special Functions. National Semiconductor. 1995.

[15] National Data Acquisition Databook. National Semiconductor.  
1995.

[16] National InterFace Databook. National Semiconductor. 1996.

[17] RF Device Data. Volumen II. Motorola. 1ª Edición. 1988

[18] Texas Instruments Incorporated, Advanced Schottky Family (ALS/AS) Applications. ALS/AS Logic Data Book, 1995, Literature number SDAD001C.

## Consultas en Internet y otros:

- [19] Accel Technologies Inc. Tango PRO Using Schematic. USA, 1993.
- [20] Accel Technologies Inc. Tango PRO Schematic Reference. USA, 1993.
- [21] Accel Technologies Inc. Tango PRO Using PCB. USA, 1993.
- [22] Accel Technologies Inc. Tango PRO PCB Reference. USA, 1993.
- [23] Accel Technologies Inc. Tango PRO Using the Library Manager. USA, 1993.
- [24] ASH Transceiver. *Nota: Ashtran.pdf*. <http://www.rfm.com>
- [25] Interfacing the Standard Parallel Port.  
<http://www.senet.com.au/~cpeacock>  
<http://www.geocities.com/SiliconValley/Bay/8302/>  
<http://www.senet.com.au/~cpeacock>
- [26] John Anthes. OOK, ASK and FSK Modulation in the Presence of an Interfering Signal. *Nota: ook.pdf*  
<http://www.RFm.com>
- [27] Kent Smith. Antennas for Low Power Applications. *Nota: antenna.pdf*  
<http://www.rfm.com>
- [28] LM18293 Four Channel Push-Pull Driver. *Nota: LM18293.pdf*.  
<http://www.nsc.com>

<http://national.com>

[29] Microsoft Visual Basic 6.0 Programmer's Guide. Microsoft Press.

[30] RX2020 916.5 MHz ASH Receiver. *Nota: rx2020.pdf*.

<http://www.RFm.com>

[31] Stephen G. LaJeunesse. Composite Video Separation Techniques.

Archivo: an9644.pdf. 1999. Copyright W 1996, Intersil Corporation

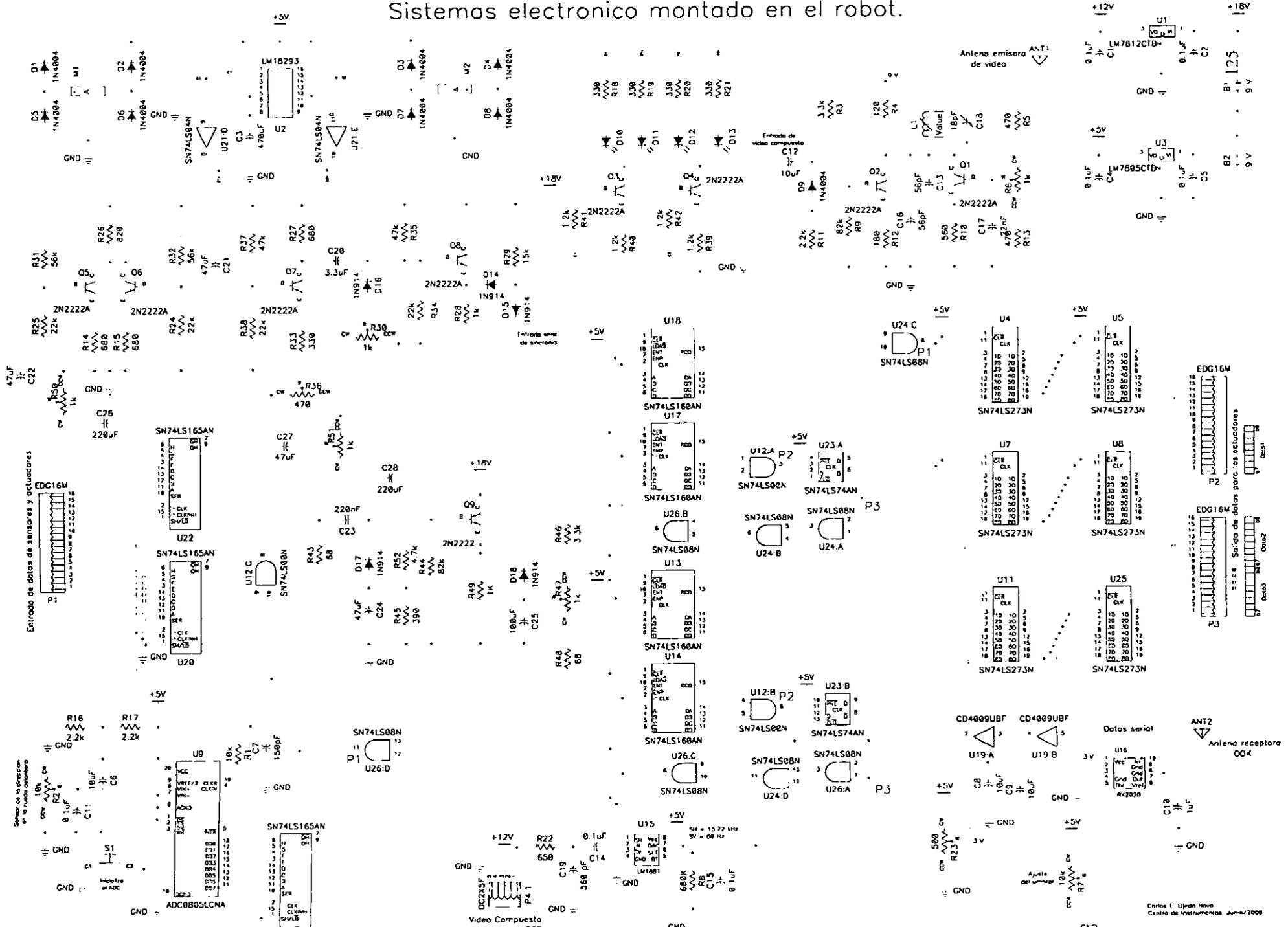
<http://www.intersil.com>.

[32] The Bypass Capacitor in High-Speed Environments. SCBA007A

November 1996. Copyright W 1996, Texas Instruments

Incorporated.

# Sistemas electronico montado en el robot.



# Sistema electronico en la PC.

