



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTILÁN

CONTROL DE UN BRAZO ROBÓTICO  
VÍA REMOTA

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA MECÁNICA ELECTRICISTA PRESENTA:**

GLORIA ADRIANA URÍZAR FERNÁNDEZ

ASESOR: NORMA ELVA CHÁVEZ RODRÍGUEZ

ESTADO DE MÉXICO.

2005

m. 340548



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**  
**UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR**  
**DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

U. N. A. M.  
 FACULTAD DE ESTUDIOS  
 SUPERIORES CUAUTITLAN  
 ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



**DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO**  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Control de un Brazo Robótico Vía Remota

que presenta la pasante: Gloria Adriana Urizar Fernández  
 con número de cuenta: 09757186-3 para obtener el título de:  
 Ingeniera Mecánica Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 16 de Noviembre de 2004

PRESIDENTE	M. I. Benjamín Contreras Santacruz	
VOCAL	Ing. Ma. de la Luz González Quijano	
SECRETARIO	Ing. Norma Elva Chávez Rodríguez	
PRIMER SUPLENTE	Ing. Ubaldo Ramírez Urizar	
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. Marcelo Bastida Tapia	

La imaginación es más importante que el conocimiento.

A. Einstein

A mi madre,  
Que su ejemplo me motiva a superarme  
ha sido pilar de muchos logros, con respeto y admiración.

A mi hermano,  
Nuestra amistad no depende de cosas como el espacio y el tiempo.

A mis amigos,  
Por su confianza y compañía.

A mis profesores de la FES Cuautitlán,  
En dos palabras puedo resumir cuanto he aprendido en el camino:  
Sigue adelante.

Gloria, orgullosamente UNAM.

---

## **OBJETIVO**

Diseñar e implementar el control de movimientos de un Brazo Robótico vía remota para maniobrar objetos en ambiente de alto riesgo humano de modo manual o automático.

---

---

---

## ÍNDICE

### CAPÍTULO 1 "Brazo Robótico"

1.1	Robots	2
1.2	Clasificación de los robots	4
1.2.1	Arquitectura	5
1.2.2	Desarrollo Histórico	6
1.2.3	Operación	8
1.2.4	Control	9
1.2.5	Lenguaje de Programación	10
1.3	Brazos Robóticos	14
1.3.1	Configuraciones de Brazos Robóticos	15
1.4	Sistemas de Impulsión	18
1.5	Aplicaciones	20
1.6	Características Técnicas del Brazo Robótico	22

### CAPÍTULO 2 "Programa CONBOT"

2.1	Fundamentos para el diseño del programa CONBOT	24
2.2	Transmisión de datos en Serie y Paralelo	25
2.2.1	El puerto paralelo de la PC	26
2.3	Esquema de Programación	29
2.3.1	Tabla Lógica de Movimientos	31
2.4	CONBOT	32
2.4.1	Descripción de la Interfaz Gráfica	33

### CAPÍTULO 3 "Transmisor y Receptor de Datos Inalámbrico"

3.1	Sistemas de Comunicación	38
3.2	Comunicaciones Digitales	39
3.2.1	Definiciones	40
3.2.2	Técnicas de Transmisión	47
3.3	Elementos de la Comunicación	49
3.4	Sistemas Infrarrojos	50
3.5	Diseño Transmisor – Receptor	52
3.5.1	Transmisor	52
3.5.2	Receptor	56

---

---

---

---

## **CAPÍTULO 4 "Etapa de Potencia del Brazo Robótico"**

4.1	Motores de Corriente Directa	63
4.1.1	Motor de CD de Imán Permanente (MP)	66
4.2	Sistemas de Control	67
4.3	Control de Motores de CD	69
4.4	Drivers de Corriente	71
4.4.1	Amplificación de Señales	71
4.4.2	Seccionadores (Choppers)	72
4.4.3	Circuito de Potencia	74

## **CAPÍTULO 5 "Integración y Funcionamiento del Sistema de Control"**

5.1	Programa CONBOT y Módulo de Transmisión	78
5.2	Receptor y Módulos de Potencia	83

<b>CONCLUSIONES</b>	88
---------------------	----

<b>ANEXOS</b>	90
---------------	----

---

---

---

---

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de sistemas de control representa un tema importante en los ambientes industriales actuales donde se requiere que se reduzcan los costos de producción y que se tenga la mayor confiabilidad posible en los procesos. De igual manera es importante reducir los riesgos de operación para el personal operador o investigador.

El diseño de un sistema de control y comunicación para un Brazo Robótico (BR) permitirá conocer los principios para elaborar controles más complejos basándose en las demandas específicas del mercado que requieran un sistema de control vía remota.

El presente proyecto consiste en adaptar un sistema de control vía remota a un Brazo Robótico. Una de las razones por las cuales se optó por la tecnología inalámbrica es que no es necesario cablear desde la computadora personal hasta el brazo esto muestra beneficios cuando en el sitio de operación no es posible tender un cable o no esta permitido, cuando al paso de un cable existe mucha interferencia electromagnética.

Para lograr el objetivo es necesario tomar en cuenta algunos aspectos: Se utilizó un Brazo Robótico comercial los movimientos de dicho brazo están definidos por voltajes definidos por el fabricante, las fuentes de alimentación son presentadas como fuentes ideales.

Los movimientos de este Brazo Robótico pueden ser controlados por:

*Microprocesador*, en el cual se tiene que programar cada rutina de movimientos en lenguaje ensamblador, lo que implica aumentar el tiempo de programación y costos de desarrollo.

*PLC (Controlador Lógico Programable)*, que eleva el costo del proyecto y gran parte de los recursos del PLC no serían utilizados.

*Computadora Personal (PC)*, en donde el operador indique cuales son los movimientos a través de un programa. Este último es el que se utiliza en el presente proyecto debido a que son equipos de uso común y se puede instalar el software y la interfaz necesaria.

El programa que controla los movimientos del BR utiliza una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) para su fácil operación y está diseñado para ser ejecutado bajo el sistema operativo Windows.

---

Para el movimiento de las articulaciones del brazo Robótico, se envían los datos de manera infrarroja a través de un medio no físico.

El sistema de comunicación tiene la función de transmitir las órdenes desde la PC hacia el sistema de potencia del BR utilizando un "transmisor y receptor en infrarrojo", mientras que la comunicación entre la computadora personal y el transmisor se realiza a través del puerto paralelo.

Los motores que componen el BR demandan una corriente para efectuar sus movimientos la cual es proporcionada por el "módulo de potencia" el cual está conectado directamente al receptor.

El proyecto se dividió en módulos para facilitar su diseño y construcción, cada uno de estos módulos está detallado en un capítulo independiente, los primeros cuatro capítulos se componen de una base teórica seguida del diseño de cada módulo y en el capítulo final se describe la integración de los módulos que componen el control del BR vía remota.

---

A faint, grayscale background image of a robotic arm, possibly a prosthetic or industrial arm, is centered on the page. The arm is shown from the shoulder down to the hand, with various joints and components visible. The image is semi-transparent, allowing the text to be overlaid on it.

# CAPÍTULO 1

## “Brazo Robótico”

---



---

## Introducción

El presente capítulo trata de modo introductorio el origen, clasificación y modos de accionamiento de los robots en general, incluyendo operación, manipulación y aplicaciones, así como las especificaciones del Brazo Robótico utilizado.

### 1.1. Robots

La necesidad de aumentar la productividad y conseguir productos acabados de una calidad uniforme lleva a la industria hacia una automatización basada en computadoras.

La inflexibilidad y generalmente el alto costo de maquinaria industrial especializada, llevó a un interés creciente en el uso de robots, capaces de efectuar una mayor variedad de funciones de fabricación para así tener un entorno de trabajo más flexible y con un menor costo de producción.

El término robot procede de la palabra checa *robota*, que significa 'trabajo obligatorio' y fue empleado por primera vez en la obra teatral R.U.R (Robots Universales de Rossum), estrenada en enero de 1921 en Praga por el novelista y dramaturgo checo Karel Capek.

Hoy la palabra robot tiene diferentes significados:

- "Dispositivos capaces de moverse de modo flexible análogo al que poseen los organismos vivos, con o sin funciones intelectuales, permitiendo operaciones en respuesta a las órdenes humanas". (*Asociación Japonesa de Robótica Industrial, JIRA*)



- 
- "Un manipulador multifuncional y reprogramable diseñado para desplazar materiales, componentes, herramientas o dispositivos especializados por medio de movimientos programados variables con el fin de realizar tareas diversas". (*Instituto de Robótica de América, RIA*)

Los robots presentan tres elementos claves según la definición adoptada:

Programabilidad: lo que significa disponer de capacidades computacionales y de manipulación de símbolos (el robot es un computador).

Capacidad mecánica: que lo capacita para realizar acciones en su entorno y no ser un mero procesador de datos (el robot es una máquina).

Flexibilidad: puesto que el robot puede operar según un amplio rango de programas y manipular material de formas distintas.

Con base en los anteriores conceptos se tiene la siguiente definición:

*"Un robot es un dispositivo de manipulación reprogramable y multifuncional, diseñado para mover material, piezas, herramientas o dispositivos especializados, mediante movimientos programados variables, con el fin de que sea capaz de realizar una cierta variedad de tareas a la vez que interacciona con su entorno. Es una unión de un software y un hardware."*

## 1.2. Clasificación de los Robots

Un robot puede estar constituido por cuatro entidades unidas entre sí:

*Sistema mecánico articulado* dotado de sus motores (eléctricos, hidráulicos o neumáticos) que arrastran a las articulaciones del robot mediante las transmisiones (bandas, flechas, engranaje). Para conocer en todo instante la posición de las articulaciones se recurre a los sensores (codificadores ópticos) que se denominan propioceptivos. Estos dan el valor a las articulaciones, que no es más que la configuración o el estado del robot.

*El entorno* es el universo en que está sumergida la primera entidad. Si los robots están sobre un puesto fijo se reduce al espacio alcanzable por el robot. En él, el robot puede encontrar obstáculos que ha de evitar y objetos de interés, o sea los objetos con los que tiene que actuar. Por todo esto existe interacción entre la parte física y el entorno. Mediante los sensores exteroceptivos (cámaras, detectores de fuerzas, detectores de proximidad, sensores táctiles) se toma información sobre el entorno.

*Las tareas a realizar* son el trabajo que se desea que haga el robot. La descripción de estas tareas se hace mediante lenguajes que pueden ser a través de los gestos, en el que se le enseña al robot lo que se debe hacer; orales, se le habla; por escrito en el que se le escriben las instrucciones en un lenguaje compatible con el robot.

*El cerebro del robot* es el órgano de tratamiento de la información. Este puede ser desde un autómata programable para los menos avanzados hasta un microprocesador para los más avanzados.



### 1.2.1. Arquitectura

Por su arquitectura los robots pueden clasificarse en:

Humanoides: Son robots que se parecen y actúan como seres humanos. Los robots actuales poseen una gran variedad de formas y tamaños.



Móviles: Los robots móviles están provistos de patas, ruedas u orugas que los capacitan para desplazarse de acuerdo a su programación. Procesan la información que reciben a través de sus propios sistemas de sensores y se emplean en determinado tipo de instalaciones industriales, sobre todo para el transporte de mercancías en líneas de producción y almacenes.



Zoomórficos: Robots caracterizados principalmente por su sistema de locomoción que imita a diversos seres vivos. Los andróides' también podrían considerarse robots zoomórficos.



Médicos: Los robots médicos son, fundamentalmente, prótesis para disminuidos físicos que se adaptan al cuerpo y están dotados de potentes sistemas de mando. Con ellos se logra igualar con precisión los movimientos y funciones de los órganos o extremidades que suplen.



Industriales: Los robots industriales son sistemas mecánicos y electrónicos destinados a realizar de forma automática determinados procesos de fabricación o manipulación. Son en la actualidad los más frecuentes.



Híbridos: Estos robots corresponden a aquellos de difícil clasificación cuya estructura resulta de una combinación de las expuestas anteriormente.

Así mismo en la arquitectura se consideran los siguientes aspectos:

Grados de Libertad: es el número de parámetros que es preciso conocer para determinar la posición del robot, es decir, los movimientos básicos independientes que posicionan a los elementos del robot en el espacio. En los robots industriales suelen considerarse seis grados de libertad: tres de ellos para definir la posición en el espacio y los otros tres para orientar la mano de sujeción o herramienta.

Precisión: en la continua repetición del posicionamiento de la mano de sujeción de un robot industrial se establece un mínimo de precisión aceptable de 0.3mm, aunque es factible alcanzar precisiones de 0.05mm.

Capacidad de carga: es el peso que el robot puede manipular. Si son pesos muy elevados se utilizarán mecanismos hidráulicos.

Sistemas de coordenadas para los movimientos del robot: son los movimientos y posiciones que se pueden especificar en coordenadas cartesianas, cilíndricas y polares.

### **1.2.2. Desarrollo Histórico**

La generación de un robot se determina por el orden histórico de desarrollo en la robótica. Cinco generaciones son normalmente asignadas a los robots.

Robots de primera generación: Dispositivos que actúan como "esclavo" mecánico de un hombre, quien provee mediante su intervención directa el control de los órganos de movimiento. Esta transmisión tiene lugar mediante servomecanismos actuados por las extremidades superiores del hombre, caso típico manipulación de materiales radiactivos, obtención de muestras submarinas, etc.

Robots de segunda generación: El dispositivo actúa automáticamente sin intervención humana frente a posiciones fijas en las que el trabajo ha sido preparado y ubicado de modo adecuado ejecutando movimientos repetitivos en el tiempo, que obedecen a lógicas combinatorias, secuenciales, programadores paso a paso, neumáticos o controladores lógicos programables. Son utilizados en la inyección de termoplásticos y metales no ferrosos, en los procesos de soldadura a punto y continua, en tareas de pintado y reemplazando con ventaja algunas operaciones de máquinas convencionales.

Robots de tercera generación: Son dispositivos que habiendo sido construidos para alcanzar determinados objetivos serán capaces de elegir la mejor forma de hacerlo teniendo en cuenta el ambiente que los circunda.

Para obtener estos resultados es necesario que el robot posea algunas condiciones que hagan posible su interacción con el ambiente y los objetos. Las mínimas aptitudes requeridas son: capacidad de reconocer un elemento determinado en el espacio y la capacidad de adoptar propias trayectorias para conseguir el objetivo deseado.

Robots de cuarta generación: Se trata de robots altamente inteligentes con más y mejores extensiones sensoriales, para entender sus acciones y captar el mundo que los rodea, dándoles movilidad avanzada en exteriores e interiores.

Robots de quinta generación: Actualmente en desarrollo. Esta nueva generación de robots basa su acción principalmente en modelos conductuales establecidos, por lo que entra en el dominio de la inteligencia artificial en lo cual se está trabajando actualmente.

### 1.2.3. Operación

Robots Manipuladores: son sistemas mecánicos multifuncionales con un sencillo sistema de control, que permite gobernar el movimiento de sus elementos de las formas siguientes:

1. *Manual*: cuando el operario controla directamente la tarea del manipulador.
2. *De secuencia fija*: cuando se repite de forma invariable, el proceso de trabajo preparado previamente.
3. *De Secuencia Variable*: se pueden alterar algunas de las características de los ciclos de trabajo.

Robots de Repetición o Aprendizaje: se limitan a repetir una secuencia de movimientos, previamente ejecutada por un operador humano, haciendo uso de un controlador manual o dispositivo auxiliar. Este tipo de programación recibe el nombre de gestual.

Robots con control por Computadora: el operador de este tipo de robots es en realidad un programador que dispone de un lenguaje específico, compuesto por varias instrucciones adaptadas al robot, con las que se puede crear un programa de aplicación. Cada programa representa una rutina diferente para el robot. A este tipo de programación se le denomina textual.

Robots Inteligentes: son manipuladores o sistemas mecánicos multifuncionales controlados por computadoras capaces de relacionarse con su entorno a través de sensores y tomar decisiones en tiempo real (auto programables).

#### 1.2.4. Control

##### CONTROL DE APRENDIZAJE

El método más común de programar un robot para que realice una nueva tarea es usar un control de aprendizaje. El control de aprendizaje es un mando de control manual que permite a un operador mover las distintas partes de un robot.

El control de aprendizaje no está unido directamente al robot, sino por medio del control principal de la computadora del robot. Cuando mueve cada articulación, la computadora graba cada posición. Después de completar el aprendizaje el robot puede realizar el trabajo por sí mismo sin necesidad de más ayuda.

Los programas en el controlador del robot pueden ser agrupados de acuerdo al nivel de control que realizan:

*Nivel de inteligencia artificial*, donde el programa aceptará un comando como "levantar el producto" y descomponerlo dentro de una secuencia de comandos de bajo nivel basados en un modelo estratégico de las tareas.

*Nivel de modo de control*, donde los movimientos del sistema son modelados, para lo que se incluye la interacción dinámica entre los diferentes mecanismos, trayectorias planeadas, y los puntos de asignación seleccionados.

*Niveles de servosistemas*, donde los actuadores controlan los parámetros de los mecanismos con el uso de una retroalimentación interna de los datos obtenidos por los sensores, y la ruta es modificada sobre la base de los datos que se obtienen de sensores externos. Todas las detecciones de fallas y mecanismos de corrección son implementados en este nivel.

### **1.2.5. Lenguaje de programación**

#### **LENGUAJE DE CONTROL ROBÓTICO**

Un lenguaje de control robótico es un lenguaje informático diseñado específicamente para controlar un robot. Además de contener las órdenes normales, tales como el control y las condiciones, un lenguaje de control robótico incluye además ordenes para el control de los movimientos del robot. Es justamente este control del movimiento lo que separa el lenguaje de control robótico de todo el resto del lenguaje de programación general. Un lenguaje de control robótico contiene una base de datos incorporada con información espacial sobre cada uno de los movimientos que debe hacer el robot.

Es importante entender que el lenguaje de control robótico no está diseñado para reemplazar al control de aprendizaje, sino para complementarlo. Por tanto, un lenguaje de control robótico debe mantener una relación estrecha con el control de aprendizaje.

En la clasificación final se considera el nivel del lenguaje de programación.

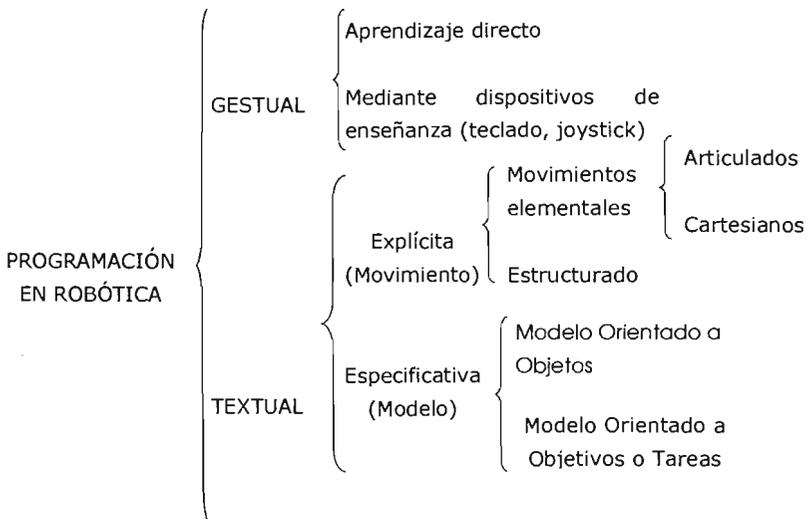
Los sistemas de programación de robots se ubican dentro de tres clases:

- 1.- Sistemas guiados, en el cual el usuario conduce el robot a través de los movimientos a ser realizados.
- 2.- Sistemas de programación de nivel-robot, en los cuales el usuario escribe un programa de computadora al especificar el movimiento.
- 3.- Sistemas de programación de nivel-tarea, en el cual el usuario especifica la operación por sus acciones sobre los objetos que el robot manipula.

**TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN**

La programación empleada en robótica puede tener 1) un carácter explícito, cuando el operador es el responsable de las acciones de control y de las instrucciones que las implementan, o 2) estar basada en la modelación del mundo exterior, cuando se describe la tarea y el entorno y el propio sistema toma las decisiones.

La programación explícita es la utilizada en las aplicaciones industriales y consta de dos técnicas fundamentales: programación gestual y programación textual.



*Figura 1.1 Clasificación de la Programación*

### Programación Gestual:

En este tipo de programación el operador guía el brazo directamente a través del camino que ha de seguir en su trabajo de aplicación. Posteriormente, el sistema repetirá ese camino cíclicamente, se conoce como programación on-line. El software se organiza aquí en forma de intérprete, de tal forma que el operador no necesita saber programar. En otros términos, el robot actúa como digitalizador de posiciones en un espacio con tantas dimensiones como articulaciones tiene, por las que se desea que pase en la fase de ejecución.

Existen dos formas básicas de registrar los movimientos:

1. Registro en puntos de paso. El robot se dirige hacia puntos consecutivos de paso en los que se registran las posiciones empleando pulsadores o teclas especiales. El sistema de control, durante la ejecución, interpola trayectorias en el espacio articular o cartesiano.
2. Registro continuo. Se muestrean con una frecuencia fija los movimientos de guiado. La frecuencia depende de la precisión requerida en la aplicación.

La Programación Gestual incluye las siguientes funciones:

- Selección de velocidades
- Generación de retardos
- Programación del estado de los sensores, tanto internos como externos.
- Borrado y modificación de los puntos de trabajo.

### Programación Textual:

El programa queda constituido por un texto de instrucciones o sentencias, cuya creación no requiere de la intervención del robot (se efectúa off-line). Es más exacto para operaciones industriales.

En la programación textual, la posibilidad de reedición es completa, por lo que se puede variar el código a nuestro antojo según las necesidades que se planteen.

Dentro de la programación textual existen dos grandes grupos de características netamente diferentes:

1. Programación Textual Explícita: El programa consta de una serie de órdenes que van definiendo con rigor las operaciones necesarias para llevar a cabo la aplicación. El programador debe tomar en cuenta todos los supuestos como situaciones anormales, colisiones, etc.
2. Programación Textual Especificativa: Se trata de una programación en la que el usuario describe las especificaciones de los productos mediante una modelización, al igual que las tareas que hay que realizar sobre ellos. En sí, las ordenes se refieren al estado en que deben ir quedando los objetos o al objetivo que se pretende conseguir. El sistema informático para la programación textual especificativa ha de disponer del modelo del universo o mundo donde se encuentra el robot.

Este modelo será normalmente una base de datos más o menos compleja y requerirá de una computación potente. El trabajo de la programación consistirá en la descripción de las tareas a realizar, lo que supone poder llevar a cabo trabajos complicados. La programación se realiza con sentencias en un lenguaje similar al usado comúnmente

### 1.3. Brazos Robóticos

Los robots más sofisticados en la Ciencia, Industria, Investigación y Desarrollo tienen al menos un brazo para sujetar, reorientar o mover objetos. Los brazos extienden el alcance de los Robots y los hacen más parecidos a los humanos.

En el brazo humano observaremos varios puntos importantes. Primero, sin duda, son mecanismos enormemente adaptables. El brazo es capaz de maniobrar en cualquier posición que se desee, para ello, tienen dos articulaciones principales: el hombro y el codo (la muñeca, hasta donde la robótica trata, se considera parte del mecanismo de la mano). El hombro se puede mover en dos planos, arriba y abajo, hacia atrás y hacia delante. Si se mueven los músculos del hombro hacia arriba, el brazo entero se levanta separándose del cuerpo. Si se mueven los músculos del hombro hacia delante, el brazo entero se mueve hacia delante. La articulación del codo es capaz de moverse en dos planos: atrás y adelante, arriba y abajo.

Las articulaciones del brazo y su capacidad de moverse se llaman grados de libertad. El hombro ofrece dos grados de libertad por sí mismo: rotación del hombro y flexión del hombro. La articulación del codo añade un tercero y cuarto grados de libertad: la flexión del codo y la rotación del codo. Los brazos robóticos también tienen grados de libertad.

No obstante en lugar de músculos, tendones, rótulas y huesos, los brazos robóticos están hechos de metal, plástico, madera, motores, electroimanes, engranajes, poleas y otros componentes mecánicos. Algunos brazos robóticos solo proporcionan un grado de libertad; otros proporcionan tres, cuatro, incluso cinco grados distintos de libertad.

Los brazos robóticos se clasifican por la forma del área que el extremo del brazo (donde se coloca la pinza) puede alcanzar. Esta área accesible se llama "envolvente de trabajo". En beneficio de la simplicidad, la envolvente de trabajo no tiene en consideración el movimiento del cuerpo del robot sino solo los mecanismos de brazo.

### 1.3.1. Configuraciones de Brazos Robóticos

Cuando se habla de la configuración de un brazo robótico, se hace referencia a la forma física que se le ha dado.

Frecuentemente es necesario que un brazo robótico extienda su pinza hacia un objeto en línea recta para introducirse por alguna estrechez. Para llevar a cabo esto es necesaria la utilización de una trigonometría bastante compleja.

Un brazo robótico capaz de tener una envolvente esférica se diría que tiene coordenadas de revolución. Los otros tres tipos importantes de configuraciones de brazos robóticos son coordenadas polares, coordenadas cilíndricas y coordenadas cartesianas o rectangulares. Se observará que hay tres grados de libertad en estos cuatro tipos básicos de brazos robóticos.

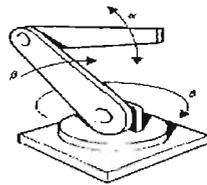
#### COORDENADAS DE REVOLUCIÓN

Los brazos con coordenadas de revolución se modelan a partir del brazo humano, de modo que tengan muchas de sus capacidades. El diseño típico es algo diferente a causa de la complejidad de la articulación del hombro humano.

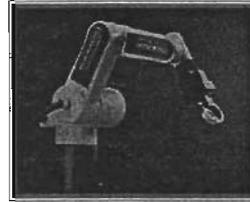
La articulación del hombro humano consta realmente de dos mecanismos. La rotación del hombro se consigue mediante el giro del brazo en su base, casi como si el brazo estuviera montado en una plataforma giratoria. La flexión del brazo se consigue moviendo la parte superior del brazo adelante y atrás.

La flexión del codo trabaja justo como en el brazo humano, el antebrazo se mueve arriba y abajo.

Los brazos de coordenadas de revolución son un diseño muy elegido para los robots para aficionados y proporcionan mucha flexibilidad.



(a)



(b)

*Fig. 1.1 (a) Esquema de movimientos de coordenadas de revolución.  
(b) Brazo robot con configuración de coordenadas de revolución.*

## COORDENADAS POLARES

La envolvente de trabajo del brazo de coordenadas polares tiene forma semiesférica. Los brazos de coordenadas polares tienen un diseño cercano al de coordenadas de revolución y son los más flexibles en términos de poder coger una gran variedad de objetos esparcidos alrededor del robot.

Una plataforma giratoria rota al brazo entero, igual que en el brazo de coordenadas de revolución. Esta función es análoga a la rotación del hombro; sin embargo, al brazo de coordenadas polares le falta un modo de flexionar el hombro.

Su segundo grado de libertad es la articulación del codo, que mueve el antebrazo arriba y abajo. El tercer grado de libertad se consigue variando el alcance del antebrazo. Se extiende o se retrae un antebrazo interior para llevar la pinza más o menos lejos del robot. Sin el antebrazo interior el brazo sólo podría alcanzar objetos colocados en un círculo finito bidimensional frente a él, en lugar de en una esfera, lo que no sería muy útil.

El brazo de coordenadas polares se usa a menudo en robots de fabricación, encontrando su mayor aplicación como dispositivo estacionario. No obstante, puede ser montado sobre un robot móvil para incrementar su flexibilidad.

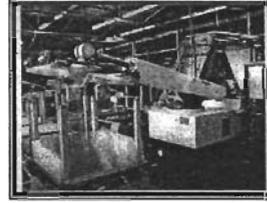
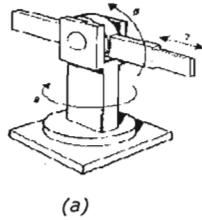


Fig. 1.2 (a) Esquema de movimientos de coordenadas polares.  
 (b) Robot con configuración de coordenadas polares.

### COORDENADAS CILÍNDRICAS

Su envolvente de trabajo se asemeja a un cilindro grueso, de ahí su nombre. La rotación del hombro se consigue mediante una base que gira, como en los brazos de coordenadas de revolución y de coordenadas polares. El antebrazo se fija a un mecanismo elevador y se mueve arriba y debajo de esta columna para agarrar objetos de varias alturas. Para permitir al brazo alcanzar objetos en un espacio de tres dimensiones, se dota al antebrazo con un mecanismo de extensión similar al descrito en el brazo de coordenadas polares.

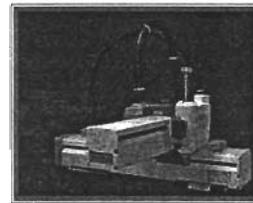
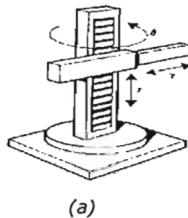
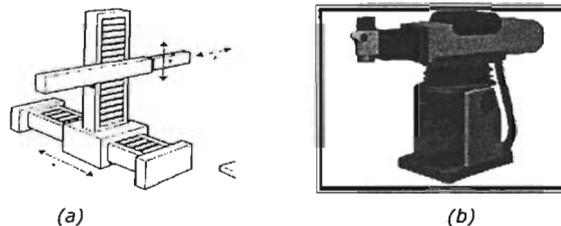


Fig. 1.3 Esquema de movimientos de coordenadas cilíndricas.  
 (b) Robot con configuración de coordenadas cilíndricas.

## COORDENADAS RECTANGULARES

La envolvente de trabajo del brazo de coordenadas cartesianas se parece a una caja, es el brazo más diferente a un brazo humano y a los demás tipos de brazos robóticos, no tiene componentes giratorias. La base posee una cadena que mueve la columna elevadora arriba y abajo, y tiene un brazo interior que extiende el alcance más cerca o más lejos del robot.



*Fig. 1.4 Esquema de movimientos de coordenadas rectangulares.  
(b) Robot con configuración de coordenadas rectangulares.*

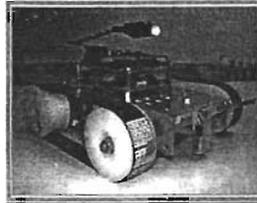
### 1.4. Sistemas de Impulsión

El sistema de impulsión es el encargado de dar movimiento a las articulaciones de un brazo robótico, hay tres maneras en general para este fin: Eléctrico, Hidráulico y Neumático.

#### ELÉCTRICO

Se le da el nombre de impulsión eléctrica cuando se usa la energía eléctrica para que el robot ejecute sus movimientos. La impulsión eléctrica tiene que ver con el empleo de motores, electroimanes y otros dispositivos electromecánicos, es la más sencilla y común de aplicar.

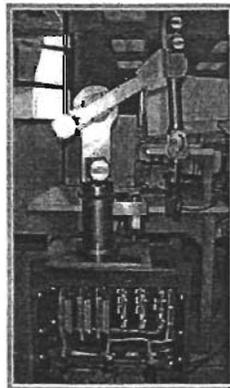
Es utilizada en robots de tamaño mediano, pues éstos no requieren de tanta velocidad ni potencia. Los robots que usan la energía eléctrica se caracterizan por una mayor exactitud y repetibilidad.



*Fig. 1.5 Carro impulsado por motores eléctricos de CD.*

## **HIDRÁULICO**

El sistema de impulsión hidráulica es en la que se utiliza un fluido, generalmente un tipo de aceite, para que el robot pueda movilizar sus mecanismos. La impulsión hidráulica se utiliza para robots grandes, los cuales presentan mayor velocidad, potencia y mayor resistencia mecánica.

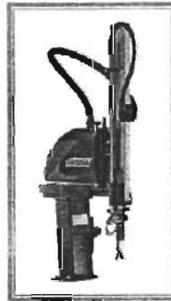


*Fig. 1.6 Brazo electromecánico con sistema impulsión hidráulico.*

## NEUMÁTICA

La actuación neumática es análoga a la hidráulica, excepto que se emplea aire comprimido en lugar de aceite u otro fluido. Tanto los sistemas hidráulicos como los neumáticos proporcionan más potencia que los sistemas eléctricos, pero son más difíciles de usar.

Los robots pequeños están diseñados para funcionar por medio de la impulsión neumática. Los robots que funcionan con impulsión neumática están limitados a operaciones como la de tomar y situar ciertos elementos. Es importante señalar que no todos los elementos que forman el robot pueden tener el mismo tipo de impulsión.



*Fig. 1.7 Impulsión neumática*

### 1.5. Aplicaciones

Teóricamente el uso de brazos robóticos podría extenderse a casi todas las áreas imaginables en donde se necesite de la ejecución de tareas mecánicas, tareas hoy ejecutadas por el hombre o imposibles de ejecutar por él (por ej. una exploración sobre el terreno de la superficie marciana). Se entiende, en este contexto, que tarea mecánica es toda actividad que involucra presencia física y movimiento por parte de su ejecutor.

Algunos de los campos de aplicación actuales de la robótica son:

### **INVESTIGACIÓN – EXPLORACIÓN**

En donde los robots presentan la ventaja de resistir mejor un medio ambiente hostil para el ser humano, como pueden ser: la colocación de tubos de pruebas dentro de los instrumentos de medición, sistema de preparación de muestras, suturas automáticas, entre otros.

### **ENTRETENIMIENTO - DIDÁCTICO**

Esta industria se favorece del uso de robots para recrear situaciones ficticias o posibles, haciendo uso de los llamados "efectos especiales".

### **CONSTRUCCIÓN**

Industria en que ya se registran proyectos que incluyen el uso de robots como ejecutores de tareas de dimensionamiento, transporte, montaje, entre otras.

### **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

Corresponde al uso de robots en la industria a fin de mejorar, agilizar y aumentar la producción en los diferentes procesos: aplicación de transferencia de material carga y descarga, operaciones de procesamiento (soldadura por puntos, soldadura por arco continua, recubrimiento con spray, corte por chorro de agua, taladro y corte por láser, etc).

## 1.6. Características Técnicas del Brazo Robótico

Alimentación: 5 Volts de CD.

Corriente maxima: 0.35 Amperes.

Potencia: 1.75 W.

Motores utilizados: 5 motores de CD

Peso Total de dispositivo:

Rotación de la base: 350°.

Rango de movimiento del hombro: 120°.

Rango de movimiento del codo: 135°.

Giro de muñeca: 340°.

Abertura de pinza: 50mm.

Peso máximo a levantar: 130 grs.

Alcance: Largo máximo hacia delante: 360 mm, altura máxima extendido hacia arriba: 510 mm.

Generación: Robot de primera generación

Grados de libertad: 5

Envolvente de trabajo: esférica

Modo de operación: Robot Manipulador controlado por computadora.

Programación: Sistema de programación guiado, técnica de programación explícita.

Sistema de coordenadas: coordenadas de revolución.

Sistema de Impulsión: Eléctrico mediante motores de CD

Aplicaciones: Entretenimiento/Didáctico.

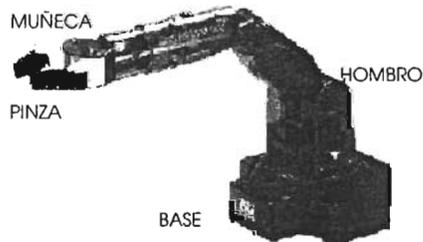


Figura 1.2 Brazo Robótico.

---

## CAPÍTULO 2

### “Programación del Brazo Robótico”

---

---



---

## **Introducción**

### **2.1 Fundamentos para el diseño del programa CONBOT**



## 2.2 Transmisión de datos en serie y paralelo

.1(a)

T

paralela a nivel de bit.

.1 (b)

4T

en serie a nivel de bit.

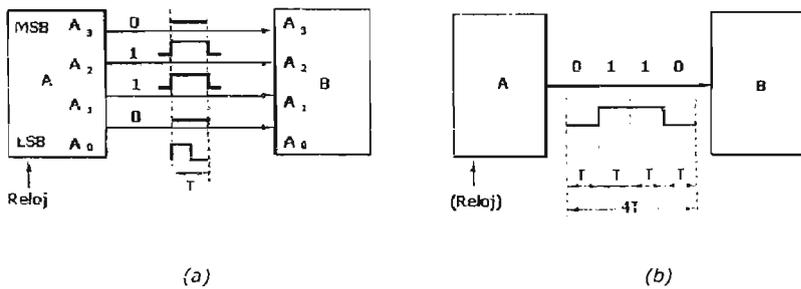


Figura 2.1 Transmisión de datos: (a) paralelo, (b) serie.



### 2.2.1 El puerto paralelo de la PC

*Small Computer System*

*Interface*

*unidireccional*

*bidireccional*

Pin	E/S	Polaridad activa	Descripción
			<i>Strobe</i>
			<i>Acknowledge</i>
			<i>Busy</i>
			<i>Select</i>
			<i>Autofeed</i>
			<i>Error</i>
			<i>Init</i>
			<i>Select input</i>

*Tabla 2.1. Configuración del puerto paralelo estándar*

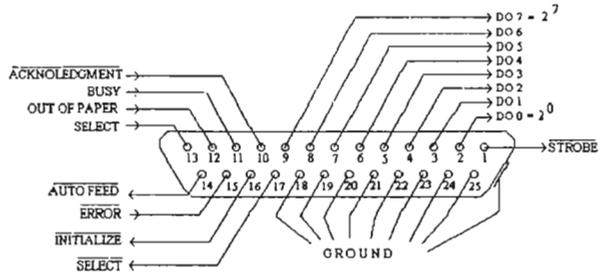


Fig. 2.2 Conector hembra DB-25S.

registro de datos

Dirección	Nombre	Lectura/Escritura	Bit #	Propiedades

Tabla 2.2. Registro de Datos.



Dirección	Nombre	Lectura/Escritura	Bit #	Propiedades

Tabla 2.3. Registro de Estado.

Dirección	Nombre	Lectura/Escritura	Bit #	Propiedades

Tabla 2.4. Registro de Control



---

---

Dirección inicial	Función

*Tabla 2.5. Direcciones Base en el BIOS*

### **2.3 Esquema de Programación**

*enlace dinámico*



### 2.3.1 Tabla Lógica de Movimientos

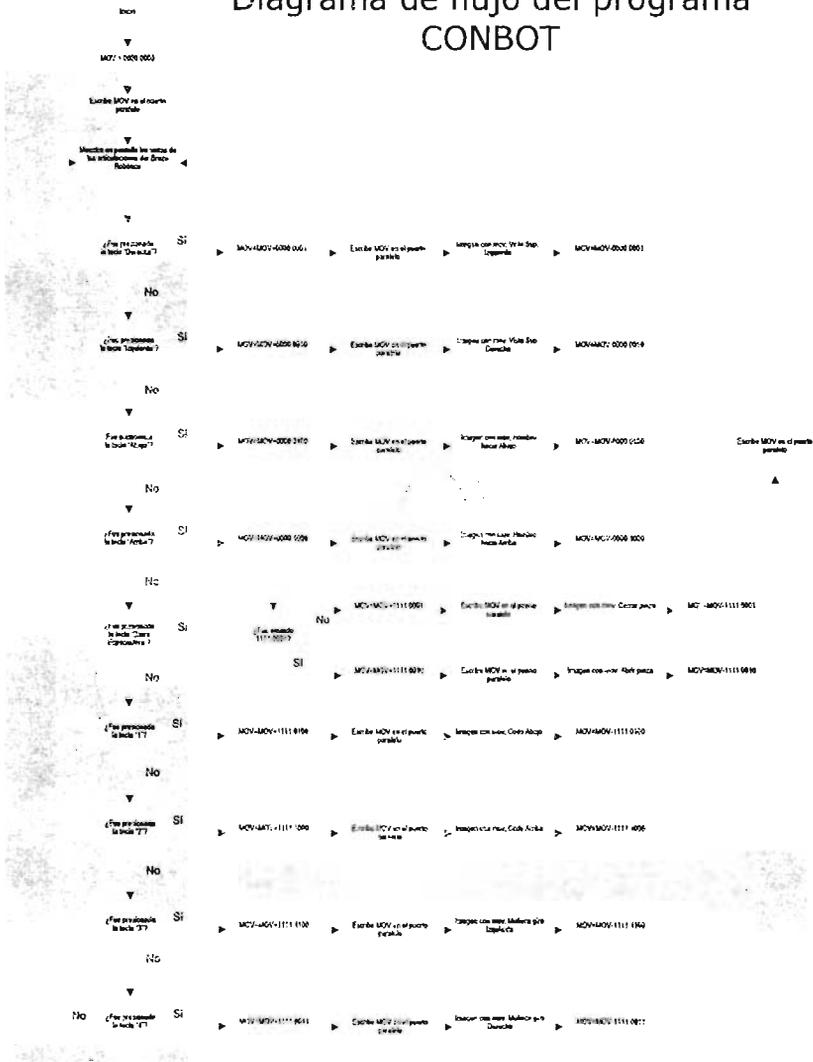
Dirección		Datos						Decimal	Articulación	Acción
MSB						LBS				
0	0	0	0	0	0	0	1	1	Base	Izquierda
0	0	0	0	0	0	1	0	2		Derecha
0	0	0	0	0	1	0	0	4	Hombro	Abajo
0	0	0	0	1	0	0	0	8		Arriba
1	1	1	1	0	0	0	1	241	Pinzas	Cerrar
1	1	1	1	0	0	1	0	242		Abrir
1	1	1	1	0	1	0	0	244	Codo	Abajo
1	1	1	1	1	0	0	0	248		Arriba
1	1	1	1	0	0	1	1	243	Muñeca	Derecha
1	1	1	1	1	1	0	0	252		Izquierda

Tabla 2.6. Estados Lógicos Binarios



## 2.4 CONBOT

### Diagrama de flujo del programa CONBOT

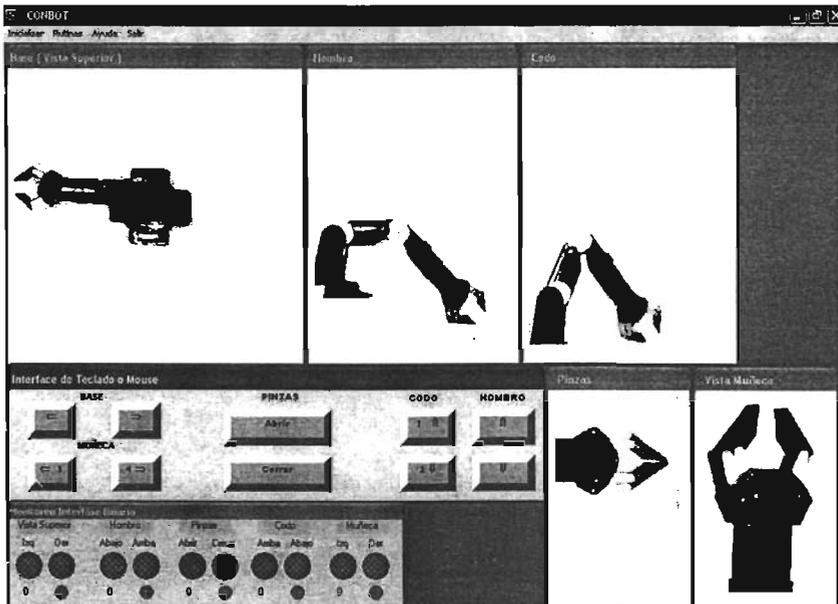




### 2.4.1 Descripción de la Interfaz gráfica

En la figura 2.4 se aprecia la pantalla principal con cinco ventanas, una barra de control y una barra de estado.

- En las cinco ventanas se tienen las 5 articulaciones del BR, donde se hace referencia al movimiento de cada una.
- La barra de comandos ( ), es la que permite el control de los movimientos a través del usuario.
- La barra de estado ( ), muestra mediante indicadores binarios los movimientos que están siendo ejecutados.





A continuación se muestran las articulaciones que componen la estructura del Brazo Robótico.

**a) Base**



**b) Hombro**



**c) Codo**



**d) Pinzas**



**e) Muñeca**





En la ventana "Monitoreo Interfaz Binaria" se muestran las combinaciones binarias de cada movimiento, que son señaladas en iconos de color gris, las cuales muestran la posición binaria del código que se esta enviando en ese momento y que representa el sentido de giro de cada articulación.



### Interfaz de Teclado o Mouse

En esta barra se encuentran los botones, que controlados a través del teclado o mouse de la PC, mueven en un sentido o en otro cada articulación, así como para girar el BR en todo su conjunto.

La base se hace girar hacia la derecha o a la izquierda utilizando las teclas del bloque de "flechas" derecha e izquierda, respectivamente.

La muñeca efectúa un giro hacia la derecha o a la izquierda utilizando las teclas numéricas superiores 3 y 4.

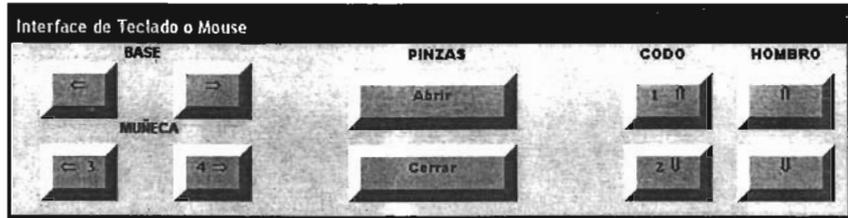
La opción de abrir y cerrar las pinzas del BR esta disponible en la tecla de la barra espaciadora y la tecla "B".

La articulación del codo se mueve hacia arriba o hacia abajo utilizando las teclas numéricas superiores 1 y 2.

El hombro se comanda hacia arriba o hacia abajo pulsando arriba o abajo del bloque de "flechas" respectivamente.



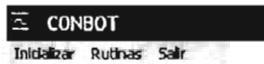
Todos los movimientos anteriormente descritos también pueden ser efectuados a través del mouse, posicionando el cursor sobre el botón deseado y dando clic en él.



Todos los movimientos realizados ya sea por medio del teclado de la PC o bien del mouse, se verán reflejados en la barra de estado “ ”.

## Menú

En el menú textual se muestra la opción de el cual pone la salida de datos del puerto paralelo en valores bajos o nulos para efectos de inicialización de todos los movimientos; ya que cuando se inicia una PC esta arranca con ciertos valores en los puertos paralelos y habrá que limpiar dicha información.



Una vez descrita la lógica de control para el Brazo Robótico y diseñado el programa que la ejecuta es necesario enviar la señal de control de manera remota. El capítulo siguiente detalla los dispositivos que llevan a cabo ésta tarea.

---

## CAPÍTULO 3

“Transmisor y Receptor de  
Datos, Inalámbrico”

---

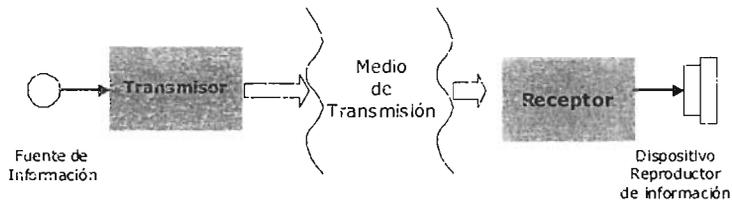


## Introducción

Este capítulo tiene como objetivo describir el diseño del sistema de comunicación que se utiliza en el control del brazo robótico, se divide en dos partes, la primera contiene los conceptos fundamentales de la comunicación digital y la segunda abarca el diseño de los circuitos de comunicación así como su interfaz con la PC y el brazo robótico.

### 3.1 Sistemas de Comunicación

Un sistema de comunicación tiene como objetivo primordial enviar información de un lugar a otro en forma de señales eléctricas. Desde un punto de vista básico, todo sistema de comunicación consta de tres grandes bloques: transmisor, medio de transmisión y receptor (Fig. 3.1).



De forma ideal, la información reproducida por el dispositivo de salida del receptor tiene que ser una réplica perfecta de la información. Lo anterior requiere que el sistema de comunicación desde la fuente hasta el dispositivo reproductor de información se comporte como un circuito lineal, invariante en el tiempo, con un ancho de banda infinito y sin ruido, sin embargo, este sistema ideal de comunicaciones no se puede obtener físicamente, ya que en todo transmisor y receptor físico se agrega ruido, se comporta como no lineal y tiene un ancho de banda finito.



De acuerdo con la forma de onda de la señal que contiene los mensajes que se envían, los sistemas de comunicación se pueden clasificar en analógicos y digitales. En los sistemas digitales de comunicación la información está contenida en una secuencia de unos y ceros a diferencia de los sistemas analógicos de comunicación donde la información está contenida en la forma de onda.

### 3.2 Comunicaciones Digitales

Los sistemas de comunicación han ido emigrando hacia los sistemas digitales. Dentro de las varias razones por las que se ha utilizado cada vez más este esquema esta la facilidad de regenerar las señales en comparación con los sistemas analógicos.

La comunicación digital ofrece varias ventajas:

- Se pueden utilizar circuitos digitales relativamente baratos.
- El mensaje puede protegerse con el uso de codificación.
- Es posible un mayor intervalo dinámico (la diferencia entre los valores mayor y menor).
- Se puede mezclar y transmitir datos de voz, video y fuentes de datos con un sistema de transmisión digital común.
- En sistemas de comunicación de larga distancia, no se acumula ruido entre una repetidora y otra.
- Los errores en los datos pueden ser pequeños, incluso cuando existe gran cantidad de ruido en la señal recibida.
- Con frecuencia se pueden corregir los errores mediante codificación.

Desventajas de los sistemas de comunicación digital:

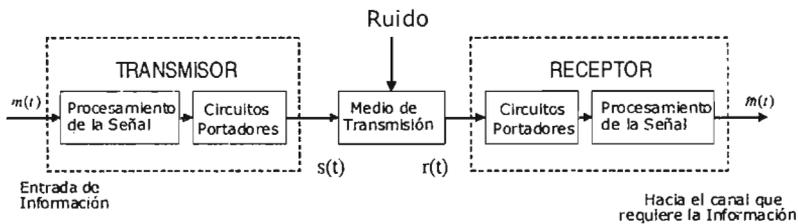
- Requiere más ancho de banda que los sistemas analógicos.
- Requiere sincronización



### 3.2.1 Definiciones

#### MODELO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN DIGITAL

En la figura 3.2 se muestra un diagrama general de un sistema de comunicación.



El mensaje que proviene de la fuente está representado por la forma de onda de entrada de información  $m(t)$ . Al mensaje enviado al canal le llamaremos  $\tilde{m}(t)$ . El  $\sim$  denota que el mensaje recibido fue afectado y puede tener diferencias con el transmitido. El mensaje  $\tilde{m}(t)$  que pasa por el canal puede estar contaminado por ruido que adquirió en el canal o puede haber otros motivos propios del sistema, tales como filtraciones o no linealidades indeseables. La información en el mensaje puede estar de forma analógica o digital, según sea el caso del sistema en particular, y puede representar audio, video o algún otro tipo de información.

Una señal eléctrica  $m(t)$  se puede representar en el dominio de la frecuencia en lugar del dominio del tiempo, y la dependencia de la amplitud de la frecuencia se denomina "espectro de frecuencia" de la señal  $m(t)$ . Los espectros de frecuencias de  $m(t)$  y  $\tilde{m}(t)$  se concentran alrededor de  $f_c$ ; por tanto, se dice que son señales de banda base. Por  $f_c$  se conoce a una señal eléctrica tal como la entrega la fuente de información, la cual pudo sufrir únicamente amplificación y filtración; lo anterior implica que el espectro de la señal en banda base es el mismo de la señal que entrega la fuente de información.



El medio de comunicación es el medio a través del cual se transmite la información. La forma de elegir un canal de comunicación esta en función del ancho de banda del medio, la información a transmitir, la potencia, la frecuencia y el costo.

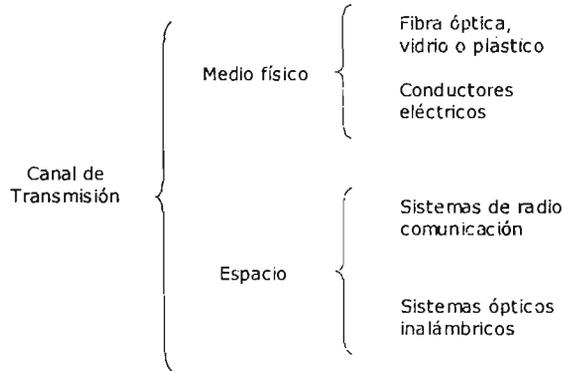
El bloque procesador de señales en el transmisor condiciona a la fuente para una transmisión más eficiente.

La señal de salida del procesador de señales, transmisor, es una señal de banda base por que sus frecuencias están concentradas en torno a  $f_c$ .

El circuito transmisor de la portadora convierte la señal de banda base procesada en una banda de frecuencia apropiada para el medio de transmisión del canal.

Se requieren circuitos portadores cuando el canal transmisor se localiza en una banda de frecuencias de corte ( ) donde  $f_c \gg 0$ . En este caso, se dice que es la señal transmitida al canal y está diseñada para tener frecuencias localizadas dentro de  $f_c \pm B$ .

Muchas de las características principales de los sistemas de comunicación están determinadas por el medio de transmisión. Este puede ser físico o el espacio; si es un canal físico, este puede ser conductor de la electricidad o dieléctrico, y la información está contenida en ondas electromagnéticas guiadas. Una clasificación de los sistemas de comunicación en base al medio de transmisión como parámetro de comparación se ve en la figura 3.3.



Los principios generales de modulación digital y analógica se aplican a todos los tipos de canales, aunque las características de éstos imponen limitantes que favorecen un tipo particular de señalización.

El medio que conforma el canal atenúa la señal de modo que el nivel de ruido del canal o el ruido introducido por un receptor imperfecto hace que la información entregada  $m(t)$  se deteriore en relación con la de la fuente. El ruido presente en el canal puede ser el resultado de perturbaciones eléctricas naturales o de fuentes artificiales, tales como líneas de transmisión de alto voltaje, sistemas de encendido de automóviles o incluso circuitos conmutadores de una computadora digital cercana.

El receptor capta la señal contaminada a la salida del canal y la convierte en una señal de banda base que puede ser manejada por el procesador de banda base del receptor. El procesador de banda base limpia la señal y entrega una estimación de la información original  $m(t)$  a la salida del sistema de comunicación.



## CODIFICACIÓN

Generalmente la información es transmitida de manera codificada, es decir, el mensaje sufre un proceso de transformación conforme a algunas reglas. Algunas ventajas por las cuales se codifican los mensajes son:

- Menor sensibilidad al ruido
- Menor interferencia entre canales de transmisión
- Menores niveles de distorsión
- Mayor eficiencia en la transmisión

La codificación permite comprimir la información de tal manera que únicamente se utilizará el contenido necesario de ésta, por lo que se aumenta la eficiencia de la transmisión.

Existen dos técnicas principales que reducen los errores de un sistema de comunicación digital.

1. Solicitud de repetición automática ARQ.
2. Corrección de errores de transmisión anticipada FEC.

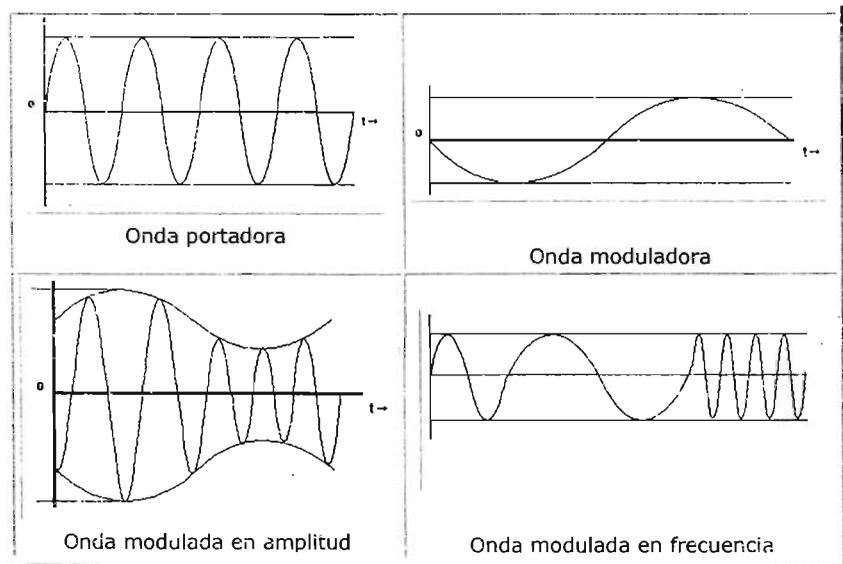
En un sistema ARQ, cuando un circuito receptor detecta errores en un bloque de datos, solicita que se retransmita el bloque de datos. En un sistema FEC, los datos transmitidos se codifican de modo que el receptor pueda detectar y corregir los errores. Estos procedimientos se conocen como codificación de canal porque se utilizan para corregir errores provocados por el ruido presente en el canal. Este procedimiento difiere de la codificación de la fuente donde el objetivo de la codificación es extraer la información esencial de la fuente y codificarla a forma digital de modo que se pueda guardar o transmitir mediante técnicas digitales.

La elección entre usar la técnica ARQ y FEC depende de la aplicación en particular. La técnica FEC se utiliza para corregir errores en canales de una sola vía o " " donde el regreso de un indicador " " no es factible.

## MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN

La modulación y demodulación son los conceptos base de las comunicaciones. Es necesario mandar el mensaje codificado por una señal portadora de una frecuencia alta, a esto se le llama modulación. La modulación es la alteración sistemática de los parámetros de la señal portadora en función del voltaje instantáneo de la onda del mensaje.

La demodulación es el proceso inverso a la modulación; en la demodulación separamos la señal de la portadora de la señal del mensaje.



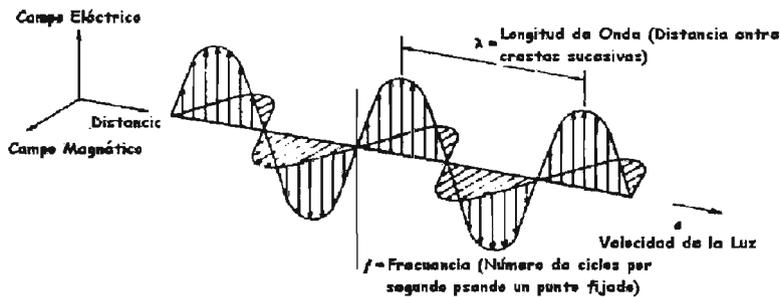


## ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS

En sistemas de comunicación que utilizan la atmósfera como canal de transmisión, las condiciones de interferencia y propagación dependen en gran medida de la frecuencia de transmisión. Es posible usar cualquier tipo de modulación (por ejemplo, modulación en amplitud, modulación en frecuencia, etc.) a cualquier frecuencia de transmisión. Sin embargo, por cuestiones de orden y por razones políticas, existen reglamentos y una normatividad que especifican el tipo de modulación, ancho de banda, y el tipo de información que se puede transmitir a través de las bandas de frecuencia designadas.

## ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Según la teoría ondulatoria la energía electromagnética se transmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz y conteniendo dos campos de fuerzas ortogonales entre sí: Eléctrico y Magnético, Figura 3.5.



Ésta energía se puede describir por dos elementos: (frecuencia) y longitud de onda) donde  $c =$  velocidad de la luz.

$f$



f

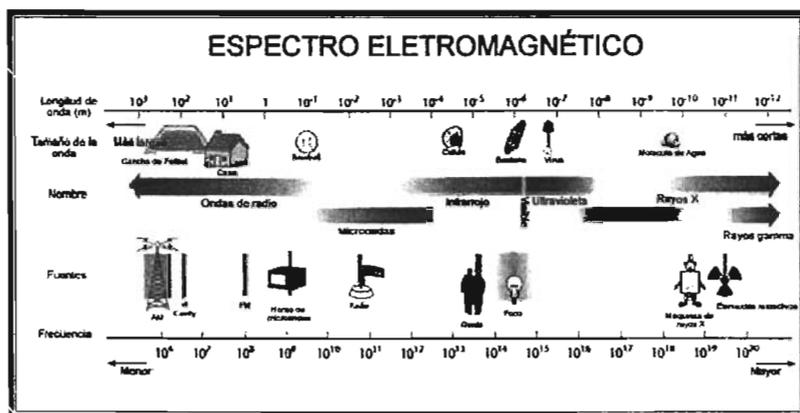


Figura 3.6 Espectro Electromagnético.



### 3.2.2 Técnicas de Transmisión

#### CÓDIGOS DE LÍNEA

Actualmente existen muchos códigos de línea, cada uno con reglas de codificación específicas, la diferencia entre una y otra estriba en que características como: densidad espectral de potencia, propagación de errores, sincronía, capacidad de detección de errores, ancho de banda e inmunidad a la inversión de fase son diferentes, ver figura 3.7.

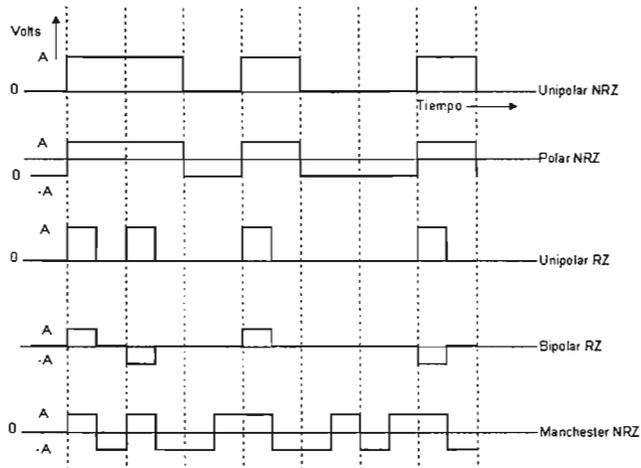


Figura 3.7 Formatos de Codificación Binaria

Existen dos categorías de los códigos de línea:

1. RZ Retorno a cero (Return to Zero)
2. NRZ Sin retorno a cero (Non Return to Zero)



La *codificación RZ*, es en la que la forma de onda regresa al nivel de cero volts en alguna parte del intervalo de envío de bits. Algunos de los códigos RZ más conocidos son:

*Unipolar*: La señalización unipolar, también conocida como conmutador de cierre y apertura, toma como el 1 binario a un nivel de voltaje alto y al nivel 0 binario como cero volts.

*Polar*: El 1 binario y el 0 binario son representados por magnitudes del voltaje iguales pero con diferente polaridad.

*Bipolar*: El 1 binario se representa por valores positivos o negativos y el 0 binario por cero volts. También se le conoce como codificación AMI (Alternate Mark Inversion).

*Manchester*: en la codificación de fase desplazada cada 1 binario es representado con un pulso de medio periodo positivo seguido por medio negativo. Y del mismo modo el 0 binario es representado por un pulso de medio periodo negativo seguido de medio positivo.

El código de línea unipolar NRZ tiene como ventaja utilizar circuitos que requieren sólo un suministro de energía, por ejemplo +5 Volts para TTL, y tiene la desventaja de requerir canales acoplados a CD, es decir, respuesta a frecuencias hasta de  $f = 0$  porque la forma de onda tiene un valor en CD de no cero.

El polar NRZ no requiere un canal acoplado a CD, siempre que los datos fluctúen a menudo entre unos y ceros binarios y se envíen números iguales de unos y ceros binarios.

Sin embargo los circuitos necesarios para producir una señal polar NRZ requieren un suministro de voltaje positivo y uno negativo. El código Manchester NRZ tiene la ventaja de tener un valor de 0 en CD, sin importar la secuencia de datos que mandemos, pero ocupa dos veces el ancho de banda de los códigos unipolar NRZ o polar NRZ porque los pulsos son de la mitad del ancho.



Las propiedades de los códigos de línea son:

- Auto sincronización. Esta propiedad se refiere a que existe suficiente información del temporizador incluida en el código de modo que pueda extraerse la señal de sincronización. Una serie larga de unos o ceros puede dificultar la extracción de la señal del reloj.
- Baja probabilidad de error de bits. Los receptores pueden ser diseñados para recuperar los datos perdidos por ruido en el canal.
- Un espectro adecuado para el canal. El ancho de banda de la señal debe ser más pequeño comparado con el ancho de banda del canal de modo que no se tenga interferencia inter simbólica.
- Ancho de banda de transmisión. Debe ser lo más pequeña posible.
- Capacidad de detección de errores. Esta propiedad debe implementarse con el uso de codificadores y decodificadores de canal, o incorporarla al propio código de línea.
- Transparencia. El protocolo de datos y el código de línea están diseñados para que cualquier secuencia sea recibida fielmente. Un protocolo no es transparente si ciertas palabras están reservadas para secuencias de control, es decir si se hace que se pierda la señal de sincronización.

### 3.3 Elementos de la comunicación

Para el control del brazo robótico los elementos de comunicación se muestran de modo esquemático en la siguiente figura:

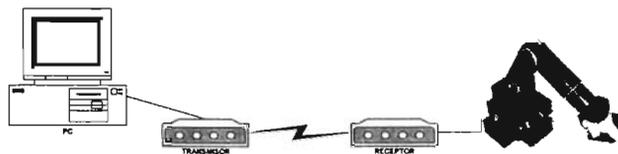


Figura 3.8 Elementos de la comunicación



En este caso (como se mostrará posteriormente), la comunicación es unidireccional del programa de la PC al brazo robótico, para ello se utiliza un transmisor y un receptor de infrarrojo. Para establecer la comunicación entre el emisor y receptor en el proyecto se decidió utilizar un sistema de infrarrojo básicamente por las siguientes razones:

- Las ondas infrarrojas no guiadas se usan mucho para la comunicación de corto alcance.
- Estos controles son direccionales y económicos.
- Dentro de sus características esta que no pueden atravesar los objetos sólidos, por lo que no interfieren con otros sistemas en cuartos adyacentes.

### 3.4 Sistemas infrarrojos

La fuente primaria de la radiación infrarroja es el calor o radiación térmica. Cualquier objeto que tenga una temperatura superior al cero absoluto ( $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ grados K}$ ), irradia ondas en la banda infrarroja. Incluso los objetos que consideramos muy fríos —por ejemplo, un trozo de hielo—, emiten en el infrarrojo. Cuando un objeto no es suficientemente caliente para irradiar ondas en el espectro visible, emite la mayoría de su energía como ondas infrarrojas.

Conforme recorremos el espectro electromagnético de la radio de onda larga hacia la luz visible, las ondas se comportan cada vez más como la luz y cada vez menos como ondas de radio.

Los sistemas infrarrojos (u ópticos inalámbricos) de comunicaciones junto con los sistemas de radiocomunicación son los únicos que emplean el espacio como medio de transmisión, por este hecho tienen un conjunto de características importantes en común: el medio no cuesta, no se emplea tiempo para su instalación y no requiere de mantenimiento, facilita la reconfiguración, facilita establecer enlaces en lugares donde no exista infraestructura o por el carácter de la construcción no se pueda instalar, etc.



Como su nombre lo indica, estos sistemas emplean luz infrarroja para transmitir la señal que contiene la información entre el transmisor y el receptor, por lo que el dispositivo de salida de todo transmisor de estos sistemas es una fuente óptica, y el dispositivo de entrada de todo receptor es un detector óptico. Las aplicaciones más importantes de estos sistemas son enlaces de corta distancia entre edificios o dentro de habitaciones.

Las características más sobresalientes son:

- No se requiere obtener un permiso o pagar por el uso del espectro electromagnético.
- Los enlaces son principalmente de línea de vista.
- La luz infrarroja no atraviesa las paredes. Esta característica permite establecer una alta densidad de sistemas sin que se interfieran entre sí.
- Mayor vulnerabilidad a las condiciones ambientales y a las obstrucciones.
- Su principal aplicación es en enlaces punto a punto de corta distancia o en redes locales dentro de habitaciones.
- Las fuentes principales de oscilaciones interferentes son la luz solar y los sistemas de iluminación.
- Se pueden establecer enlaces de línea de vista o difusos con una reflexión en el techo, dentro de habitaciones.
- Requerimientos de bajo voltaje por lo tanto es ideal para Laptops, teléfonos, asistentes personales digitales.
- Circuito de bajo costo
- Circuitos simples: no requiere hardware especial, puede ser incorporado en el circuito integrado de un producto.
- Corto alcance: la eficiencia cae con distancias más largas.
- Velocidad: la transmisión de datos es mas baja que la típica transmisión cableada



---

### 3.5 Diseño Transmisor-Receptor

El diseño de los circuitos de comunicación se realizó tomando como base los circuitos MC145026 y el MC145027, los cuales tienen la capacidad de funcionar como codificador y decodificador, básicamente para funciones de control remoto.

Para la selección de los circuitos integrados se consideraron los siguientes factores:

- Un bajo costo y fácil adquisición.
- Versión compatible con TTL.
- Un bajo consumo de potencia.
- Facilidad de operación.
- La mayor facilidad, la menor periodicidad y el menor tiempo del mantenimiento del sistema.
- Confiabilidad en la transmisión. Cuenta con detección de errores.

#### 3.5.1 Transmisor

Con el propósito de transmitir la información necesaria para controlar los movimientos del Brazo Robótico se utiliza el circuito codificador MC145026. Este circuito integrado permite mandar de forma serial los datos. El CI MC145026 codifica nueve bits de información y los manda de manera serial cuando el pin de  $\overline{TE}$  (Transmit Enable) es activado. Las palabras son transmitidas dos veces como secuencia de codificación para incrementar la seguridad de que sean recibidas.

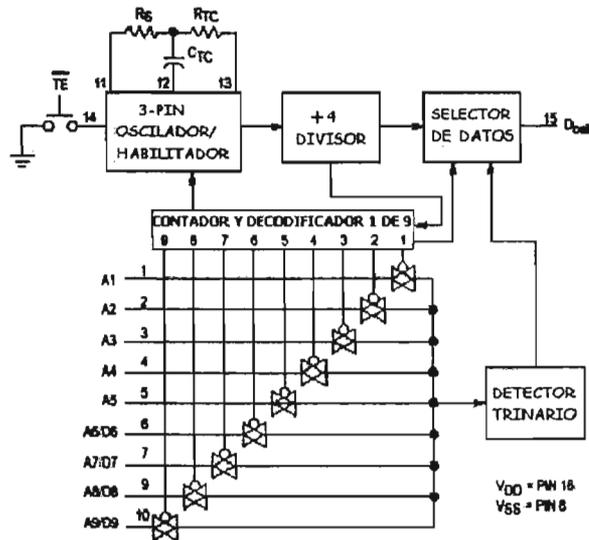


Figura 3.9 Diagrama de bloques del circuito MC145026

La figura 3.9 muestra que las líneas A1 a A5 son la dirección a la que va a ser transmitida la información contenida en A6/D6 hasta A9/D9. En la parte superior del diagrama se aprecia un módulo que contiene la habilitación de la transmisión y el oscilador tipo Resistivo-Capacitivo RC. Esta señal pasa por un divisor de frecuencias y posteriormente va hacia el codificador donde los datos son codificados y llevados al selector de datos y buffer para ser enviados en forma serial.

Se puede observar que existe un TRINARY DETECTOR que detecta la diferencia entre un 1 lógico, un 0 lógico o una alta impedancia o tercer estado.

La secuencia de transmisión inicia con un 0 lógico en el pin de entrada  $\overline{TE}$ . Mientras el circuito tenga alimentación y  $\overline{TE}$  tenga nivel 0 se transmitirá constantemente. También manteniendo  $\overline{TE}$  en 0 el circuito emite una secuencia de dos palabras. Ver figura 3.10.



Después de que las dos palabras son enviadas no se envían más datos sino hasta después de tres periodos de datos.

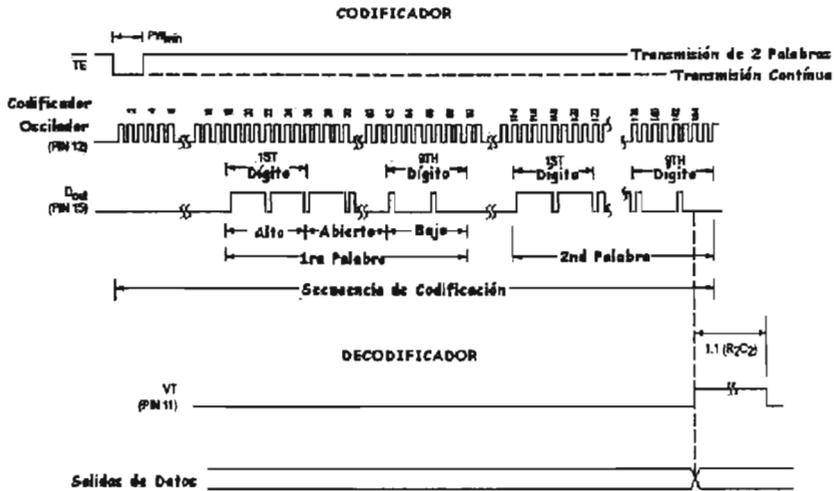


Figura 3.10 Diagrama de codificación y decodificación en el tiempo.

Cada dígito binario es codificado en pulsos. Un 0 lógico es codificado como dos pulsos cortos consecutivos. Un 1 lógico es codificado como dos pulsos largos consecutivos como se ve en la figura 3.11.

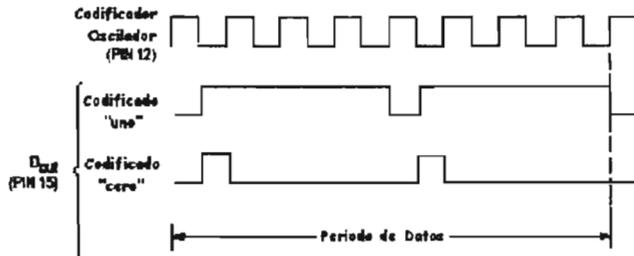


Figura 3.11 Codificación de estados.



El oscilador opera a una frecuencia determinada por la red externa RC, donde la frecuencia se puede calcular en base a la ecuación de la figura 3.12 proporcionada en hojas de especificaciones del fabricante.

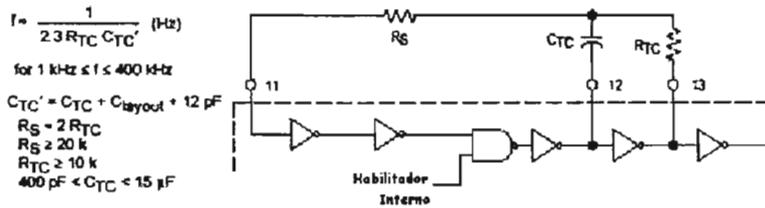


Figura 3.12 Oscilador RC.

Una vez que los bits son codificados la señal de salida  $D_{out}$  que es la señal banda base será modulada para poder ser enviada por el canal de comunicación.

La etapa posterior al circuito MC145026 consta de un oscilador en base a un cristal de cuarzo que oscila a una frecuencia de 32.768 KHz que genera la frecuencia portadora (ver Figura 3.13). La señal es modulada con una compuerta NAND y posteriormente existe una etapa que proporciona potencia utilizando el transistor PNP de propósito general MPS2907 en configuración base común donde la salida está en fase con la entrada y el colector del transistor se conecta a un LED infrarrojo para el envío de la información.

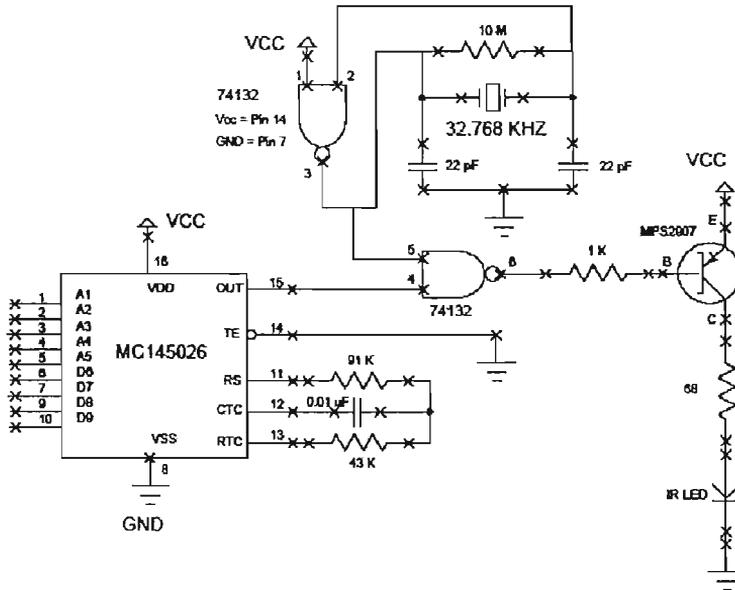
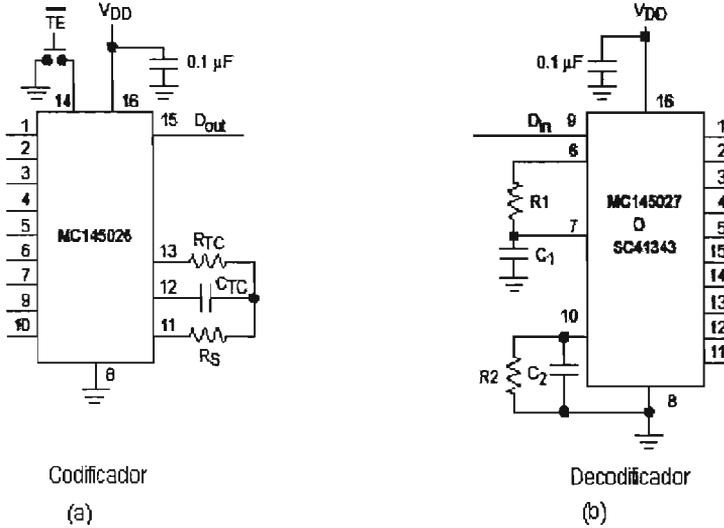


Figura 3.13 Módulo de Transmisión

### 3.5.2 Receptor

Una vez que los datos son enviados y viajan por el canal, llegan al sensor infrarrojo alineado hacia el transmisor (sin ningún obstáculo opaco) y una vez que el sensor recibe la señal pasa por una compuerta de negación y entra al circuito del decodificador. Para que el circuito del decodificador pueda interpretar las señales se debe de cumplir con las siguientes condiciones mostradas en la figura 3.14.



Codificador  
(a)

Decodificador  
(b)

$$f_{osc} = \frac{1}{2.3 R_{TC} C_{TC}'}$$

$$R_1 C_1 = 3.95 R_{TC} C_{TC}$$

$$R_2 C_2 = 77 R_{TC} C_{TC}$$

$$C_{TC}' = C_{TC} + C_{layout} + 12 \text{ pF}$$

$$100 \text{ pF} \leq C_{TC} \leq 15 \text{ μF}$$

$$R_{TC} \geq 10 \text{ k}\Omega; R_S = 2 R_{TC}$$

$$R_1 \geq 10 \text{ k}\Omega$$

$$C_1 \geq 400 \text{ pF}$$

$$R_2 \geq 100 \text{ k}\Omega$$

$$C_2 \geq 700 \text{ pF}$$

Figura 3.14 Configuración del codificador (a), configuración del decodificador (b).

Estas condiciones se refieren a como deben alambrarse los circuitos para que se obtengan los osciladores RC que sincronizan la información que se envía y recibe, las ecuaciones de la figura 3.14 están dadas por hojas de especificaciones del circuito integrado.

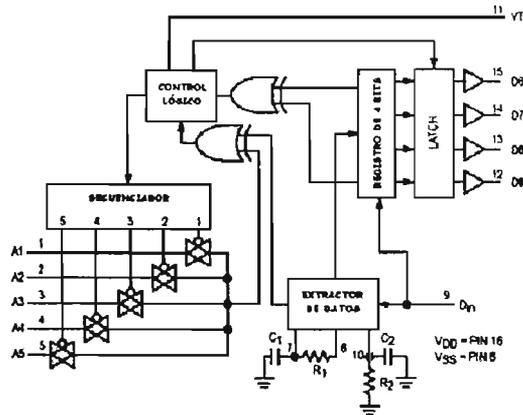


Figura 3.15 Diagrama de bloques del decodificador MC145027

El circuito MC145027 (ver figura 3.15) recibe el flujo serial e interpreta cinco de los nueve bits como el código de la dirección. Los siguientes cuatro bits representan la información relativa a los movimientos de los motores. El bit de VT (Valid Transmission) es un 1 lógico cuando se cumplen dos condiciones:

- A. Dos direcciones debe recibirse consecutivamente en una secuencia de codificación. Estas direcciones deben de coincidir con la dirección especificada para el circuito decodificador.
- B. Los cuatro bit de datos recibidos deben de coincidir con los últimos datos recibidos.

Como se observa en la figura 3.15 la señal entra al circuito y los datos son recolectados por el Extractor de Datos. De ahí los datos de la dirección van a un registro para ser comparados con la dirección especificada para el circuito MC145027.

En la figura 3.16 se especifica como es posible la recepción de datos. El receptor propuesto contiene dos decodificadores. Uno de ellos tiene la dirección binaria 00000 y el otro tiene la dirección 11110. El decodificador A recibe la información de los motores 1, 2 y el decodificador B recibe la información de los motores 3, 4 y 5.

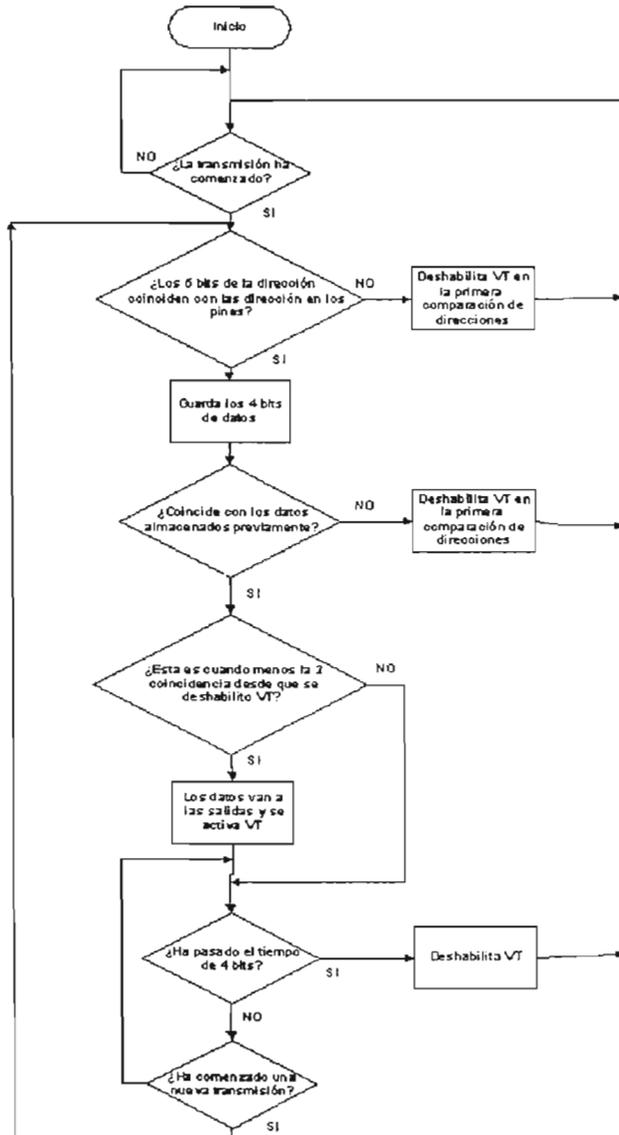


Figura 3.16 Diagrama de flujo de la recepción de datos.

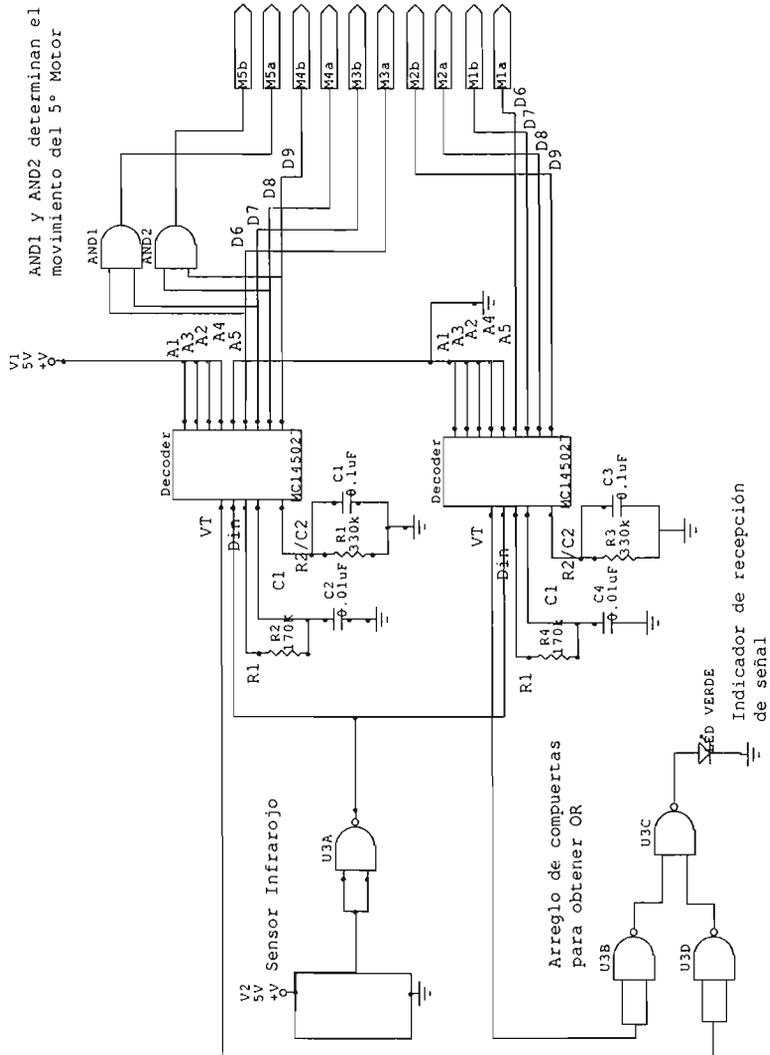


Figura 3.17 Diagrama Eléctrico del Circuito Receptor.



---

El motivo para usar dos receptores es que de esta manera no se requiere un controlador que identifique que movimiento corresponde a cada motor. Como esta propuesto el circuito los motores van directos a la etapa de potencia con excepción del quinto motor que es identificado por dos compuertas AND para su movimiento.

Como se puede apreciar en la figura 3.17 las salidas VT de los dos decodificadores se conectan a un arreglo de NAND's que determina cuando se esta recibiendo una señal en cualquiera de los dos decodificadores.

Al final de este circuito podemos observar la entrega de 10 bits (M1a, M1b, ..., M5b) que controlan los movimiento de 5 motores. En este punto estos bits no tienen la suficiente corriente como para mover los motores. También este circuito no tiene ninguna protección contra el regreso de corriente en el caso de que los motores se comporten como generadores de corriente directa, Por lo que en el siguiente capítulo se tratan estos problemas.

---

## CAPÍTULO 4

“Etapa del Potencia  
Brazo Robótico”

---



---

## Introducción

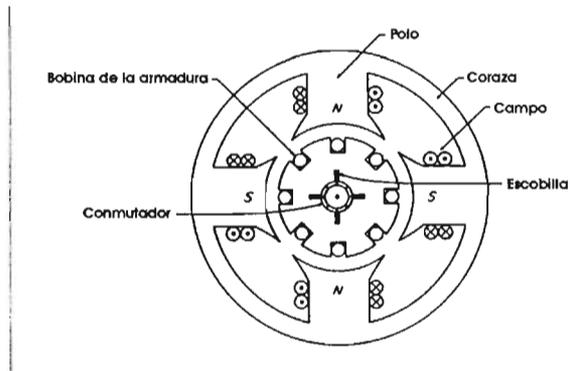
El brazo robótico utiliza en sus articulaciones motores de corriente directa (CD) para poder moverse. Los motores son máquinas eléctricas autónomas, sin embargo para darles uso en diversas aplicaciones es necesario tener un sistema que controle algunas de sus características.

En este capítulo se describe de manera breve el funcionamiento de los motores de CD, así como algunas técnicas de control de velocidad y sentido de rotación. Existen 5 tipos de motores de CD de uso general, sin embargo este capítulo se enfoca en el motor de CD de imán permanente,

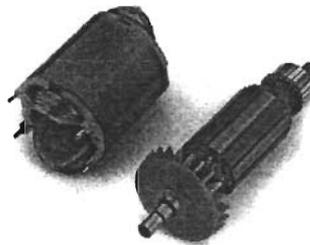
### 4.1 Motores de Corriente Directa

*carcaza*

*piezas polares*



a) .



b)

4.1 a) Esquema de las partes de un motor de CD  
b) Estator(izquierda) y rotor(derecha) de un motor de CD.

*inducido*

*inductores*

*armadura*

*campo.*

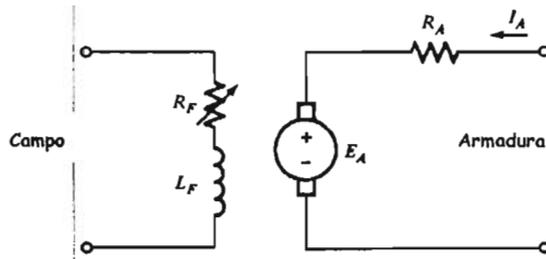


Fig. 4.2 Circuito equivalente de un motor de CD.

$\tau$

$$E_A = K\phi\omega$$

$$\tau_{ind} = K\phi I_A$$

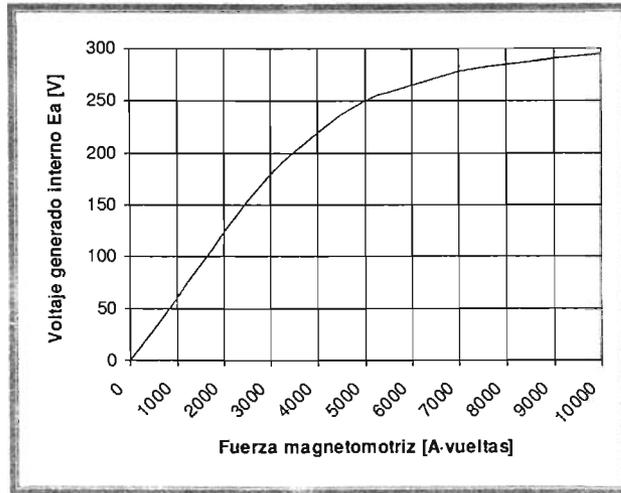
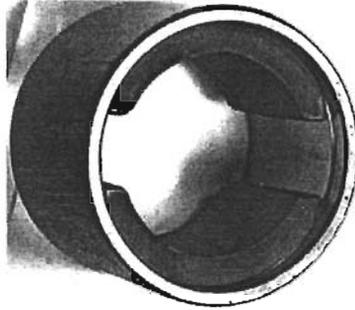


Fig. 4.3 Ejemplo de una curva de magnetización de un motor para una velocidad de 1200 rpm.

#### 4.1.1 Motor de CD de Imán Permanente (MP)

En este tipo de motor los embobinados de los polos son reemplazados por imanes permanentes. En algunas aplicaciones, los motores MP ofrecen diversos beneficios en comparación con los demás motores de CD. Como no requieren un circuito de campo externo, no tienen las pérdidas de cobre del circuito de campo y sus dimensiones pueden ser menores; sin embargo tienen desventajas, los imanes permanentes no pueden producir una densidad de flujo alta, por lo que estos motores tendrán un menor momento inducido ( $\tau_{ind}$ ), además el campo magnético inducido en la armadura puede ocasionar la desmagnetización de los imanes si la corriente en la armadura se hace muy grande. El flujo magnético de este tipo de máquina es fijo, por lo que los únicos métodos disponibles para controlar su velocidad, son el control de voltaje en la armadura y el control de resistencia en la armadura.



*Fig. 4.4 Polos de un motor de Imán permanente*

## 4.2 Sistemas de Control

Un sistema de control es un conjunto de componentes, dispositivos o señales, que interconectados entre si realizan una función predeterminada.

El objeto de un sistema de control es gobernar una variable a la salida de determinado proceso de acuerdo a una señal de entrada que le indica a los elementos de un sistema de qué manera deben actuar.

No todos los sistemas pueden controlar satisfactoriamente la variable de salida y esto dependerá de la constitución y configuración de dichos sistemas, por esta razón se han subdividido en 2 categorías:

- 1) Sistemas de Control de Lazo Abierto.
- 2) Sistemas de Control de Lazo Cerrado.



Sistemas de Control de Lazo Abierto: son aquellos en los que la salida no tiene efecto sobre la acción de control, es por eso que a cada entrada de referencia le corresponde una condición de opción fija.



Fig. 4.5 Sistema de Control de Lazo Abierto

Las características principales de un sistema de control de lazo abierto son:

- Sencillos y económicos.
- Su exactitud depende del criterio y calibración.
- Son sensibles a las variaciones.

En la práctica solo se puede usar un sistema de control de lazo abierto si la relación entre la entrada y la salida es conocida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Debe hacerse notar que cualquier sistema de control que funciona sobre una base de tiempos es de lazo abierto.

Sistemas de Control de Lazo Cerrado. Es aquel en el que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control, por eso también son llamados sistemas retroalimentados.

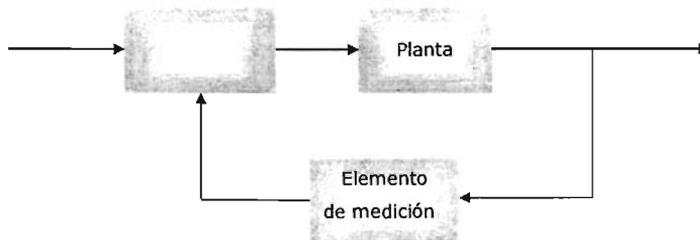


Fig. 4.6 Diagrama general de un sistema de Control de Lazo Cerrado.



- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 

### 4.3 Control de motores de CD



$$E_A = K\phi\omega$$
$$V_T = E_A + I_A R_A$$

$$K\phi\omega = V_T - I_A R_A$$

$$\omega = \frac{V_T - I_A R_A}{K\phi}$$

$(I_A)$  es por lo general dependiente de la carga, por lo que no es comúnmente usada como variable de control.

Observando la última ecuación se pueden obtener varias relaciones:

- *Al aumentar el voltaje terminal, aumenta la velocidad* si el flujo por polo es constante con el motor de imán permanente.



- 
- Para una corriente  $I_A$  dada, *la velocidad disminuye si la resistencia del circuito de armadura se incrementa (a costa de una pérdida de  $I^2R$  mayor).*
  - La velocidad es inversamente proporcional al flujo por polo, por lo que *el incrementar la corriente de campo hace disminuir la velocidad.*

#### **4.4 Drivers de Corriente**

##### **4.4.1 Amplificación de señales**



#### 4.4.2 Seccionadores (Choppers)

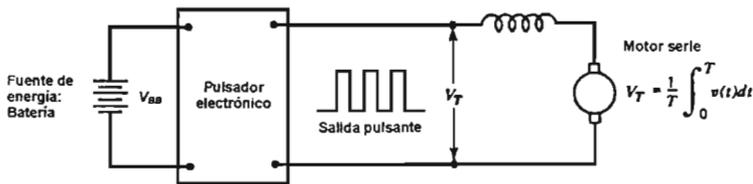


Fig. 4.7 Control de velocidad mediante  $V_T$  variable, el pulsador modifica el ancho y/o frecuencia de los pulsos

En varias aplicaciones es requerido convertir una fuente de voltaje fijo de CD en una fuente de voltaje variable de CD, al dispositivo que realiza esta función se le llama chopper.

Los choppers son ampliamente usados para control de motores de tracción en automóviles eléctricos, trolebuses, grúas marinas, montacargas, etc. Proporcionan un control de aceleración suave, alta eficiencia y rápida respuesta dinámica. Pueden ser usados en frenado regenerativo de motores de CD para devolver energía al sistema, lo cual representa ahorro de energía en sistemas de transporte con paradas frecuentes.



Los choppers se clasifican dependiendo de la dirección del flujo de la corriente y voltaje como:

- *Clase A.*- La corriente de carga fluye hacia la carga. La corriente y el voltaje son positivos.
- *Clase B.*- La corriente de carga fluye fuera de la carga. El voltaje es positivo y la corriente es negativa.
- *Clase C.*- La corriente de carga puede ser positiva o negativa y el voltaje es siempre positivo.
- *Clase D.*- La corriente de carga es siempre positiva. El voltaje de la carga puede ser positivo o negativo.
- *Clase E.*- Tanto la corriente de carga como el voltaje de la carga pueden ser positivos o negativos en sus 4 combinaciones.

El seccionador que nos interesa es el de Clase E debido a que el voltaje y corriente deben ser positivos en la carga (motor) para que gire en un sentido y negativos para que gire en el otro sentido.

El esquema básico de un seccionador Clase E se muestra en la figura 4.8, los interruptores determinan la polaridad del voltaje y el sentido de la corriente en el motor o carga, siendo que los interruptores pueden ser implementados de muchas formas.

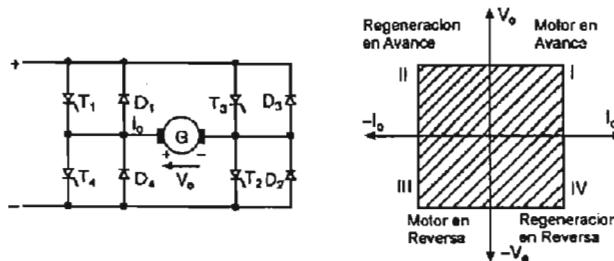


Fig. 4.8 Seccionador Clase E



---

Este seccionador es llamado de 4 cuadrantes debido a que opera en 4 modos, como se aprecia en la grafica de la figura 4.8.

1er cuadrante: T1 y T2 conducen. El voltaje y la corriente son positivos, por lo que la máquina opera como motor en avance.

2do cuadrante: Si la fem del motor llega a ser mayor que el voltaje de entrada con la polaridad positiva entonces D1 y D2 entran en conducción y la máquina (motor) entrega corriente a la fuente. El voltaje es positivo y la corriente es negativa y la máquina opera en el modo de generación de avance.

3er cuadrante: Si T3 y T4 conducen, la corriente y el voltaje son opuestos a las direcciones de referencia, siendo negativos. La máquina opera en motor en reversa.

4to cuadrante: Si la polaridad de la fem generada polariza directamente a los diodos D3 y D4, la máquina entrega corriente a la fuente y está en modo de generación de reversa.

#### 4.4.3 Circuito de Potencia

Tomando como base los conceptos anteriores, el objetivo de este capítulo es el de diseñar un circuito que se encargue de dar potencia a las señales que controlan los motores y que en su conjunto aisle eléctricamente las señales de potencia de las entradas de control.

De la variedad de dispositivos electrónicos se seleccionó el circuito integrado L293B denominado como "*push-pull driver*" que es un chopper tipo E con amplificador de corriente, este circuito integrado (CI) es capaz de entregar hasta 1 Amper de corriente por cada canal de salida (4 en cada CI), y controlar hasta dos motores.



En la figura 4.9 se observa el diagrama general de conexión de un motor al CI L293B en el cual los diodos son utilizados cuando el motor entra en el modo de generador.

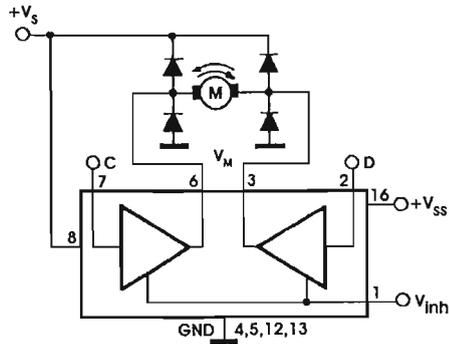


Fig. 4.9 Diagrama esquemático de un CI L293B

$V_{ss}$  es el voltaje de alimentación del CI, el cual es un voltaje que puede variar desde 4.5V hasta 36 V, mientras que  $V_s$  es el voltaje con el que trabajan los motores de 5V, por razones prácticas en el circuito de potencia estos dos voltajes son el mismo ( $V_s = V_{ss} = V_{cc}$ ; donde  $V_{cc}$  es el voltaje de alimentación general del receptor), únicamente se busca una fuente de voltaje que fuera capaz de dar la potencia necesaria tanto a los motores como a los CI.

En la misma figura 4.9 se pueden apreciar los "drivers" con su entrada de habilitación  $V_{inh}$  la cual al poner en estado bajo hace que las salidas 6 y 3 estén en alta impedancia, en el circuito por diseño se mantiene  $V_{inh}$  siempre activa; las entradas C y D hacen que los "drivers" se fijen en  $V_s$  o GND es decir que entran en corte o saturación, según estén en estado alto o bajo respectivamente.

En la tabla 4.1 se resume el funcionamiento del CI L293B para las entradas C y D de control de la figura 4.9



Entradas	Voltaje $V_M$ en bornes 6(+) y 3(-)	Función
C = H, D = L	$V_s$	Giro a la derecha
C = L, D = H	$-V_s$	Giro a la Izquierda
C = D	0	Paro rápido de motor

Tabla 4.1: Operación del CI L293B

El circuito usado en la etapa de potencia es el mostrado en la figura 4.9, en donde, como se puede apreciar tiene 10 señales de entrada y 10 señales de salida.

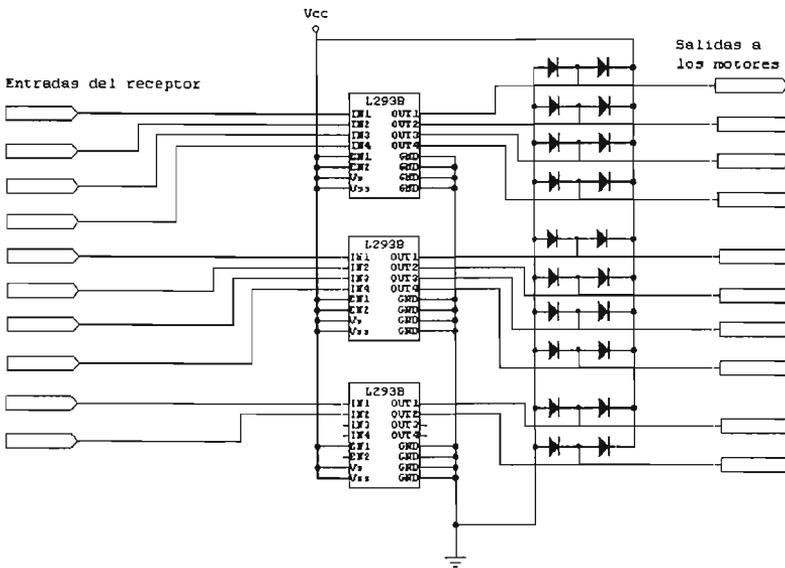
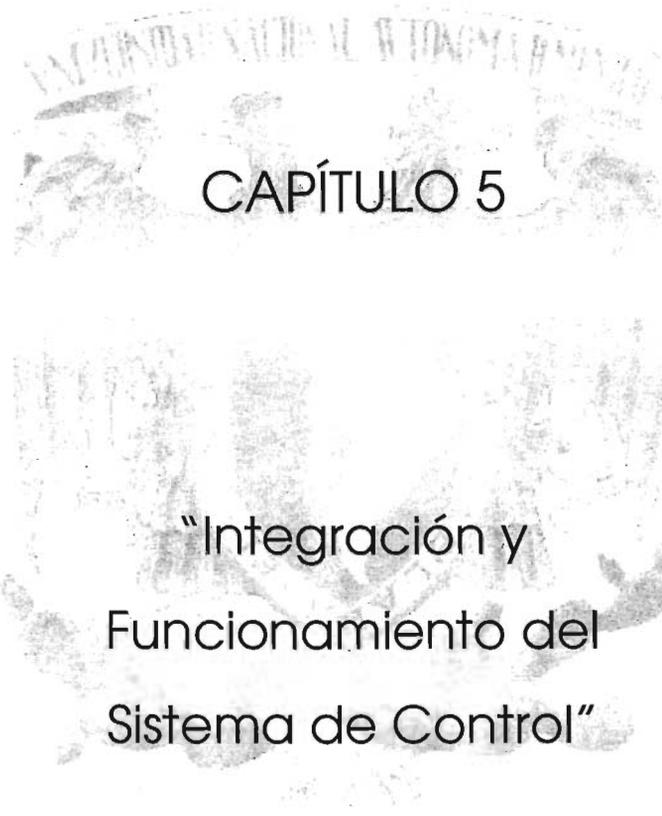


Figura 4.9 Esquema de conexión del circuito de potencia.

A la izquierda de este esquema se localizan las 10 señales de entrada que entrega el circuito receptor, cada par de ellas controla un motor y entran en un CI L293B, el cual tiene como función principal entregar un voltaje de potencia a los motores en función de las señales de entrada recibidas.

---



## CAPÍTULO 5

“Integración y  
Funcionamiento del  
Sistema de Control”

---



## Introducción

En este capítulo se describe la integración de los módulos que componen el control del Brazo Robótico vía remota, en la figura 5.1 se muestra el esquema general de esta integración.

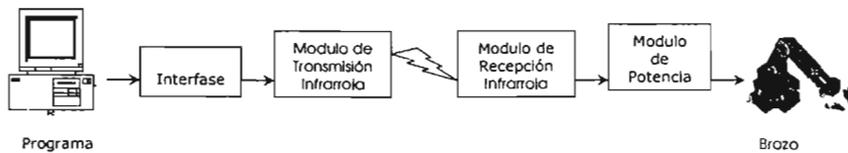


Fig. 5.1 Diagrama de Bloques del Sistema de Control

### 5.1 Programa CONBOT y Modulo de Transmisión

Normalmente cuando son encendidas las PC's el BIOS envía una serie de instrucciones o palabras binarias a través del puerto paralelo. Por tanto es necesario como primera instancia que el módulo de transmisión y recepción sean encendidos después que el programa CONBOT este en ejecución para evitar el envío y recepción de instrucciones erróneas en el Brazo Robótico.

Al ejecutar el programa CONBOT, se despliega la pantalla principal que muestra las vistas de las diversas articulaciones del Brazo Robótico; este programa escribe en el puerto paralelo una palabra binaria o Byte en ceros para que el brazo no tenga movimiento hasta no haber sido accionado por alguna instrucción proveniente del programa.

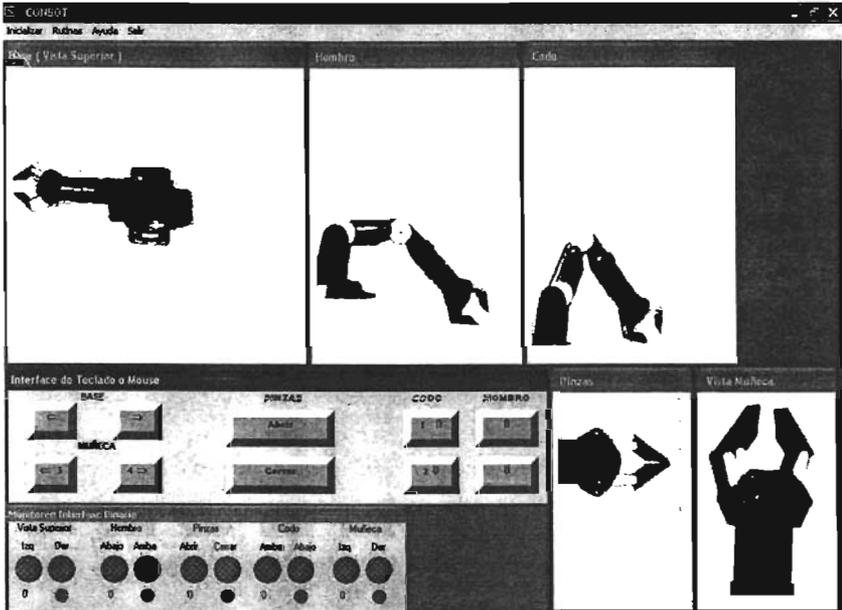


Fig. 5.2 Pantalla Principal CONBOT

El control del Brazo Robótico se realiza desde la ventana llamada "Interfase de teclado o Mouse", que consta de un conjunto de botones que hacen que el Brazo Robótico reaccione a las instrucciones enviadas.

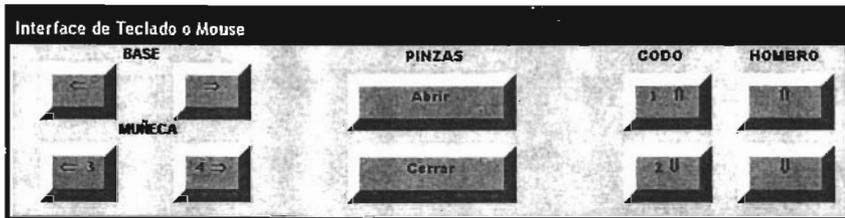


Fig. 5.3 Pantalla Interfase de Teclado o Mouse



Las palabras binarias que comprenden el accionamiento de cualquier botón han sido asignadas de acuerdo a un esquema:

- Los 4 bits más significativos (MSB) son usados para especificar la dirección del decodificador (MC145027) a utilizar.
- Los 4 bits menos significativos (LSB) son usados para especificar sobre cual motor se actúa y su sentido de giro.

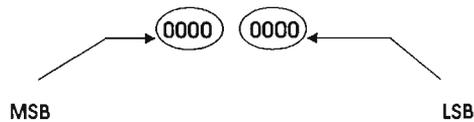


Fig. 5.4 Esquema de la palabra de control

En la tabla 2.6 (cap. 2) se especifican las palabras de control utilizadas bajo el esquema anterior.

Cuando es presionada cualquier tecla de la pantalla de "Interfase Teclado o Mouse", lo que realiza el Programa CONBOT es enviar una palabra binaria por el puerto paralelo mediante el uso de la librería *puerto.dll*. Transmite dicha palabra al módulo "interfase de protección del puerto paralelo". El módulo trabaja con un circuito de tres estados 74LS244. El circuito permite el paso de un 0 o un 1 lógico y no permite el regreso de corriente que pudiera dañar el puerto paralelo y/o la tarjeta madre de la PC.

### Transmisor

La conexión entre el circuito de protección 74LS244 y el codificador MC145026 se muestran en la fig. 5.5. El codificador trabaja a una frecuencia dada por un circuito oscilador RC.

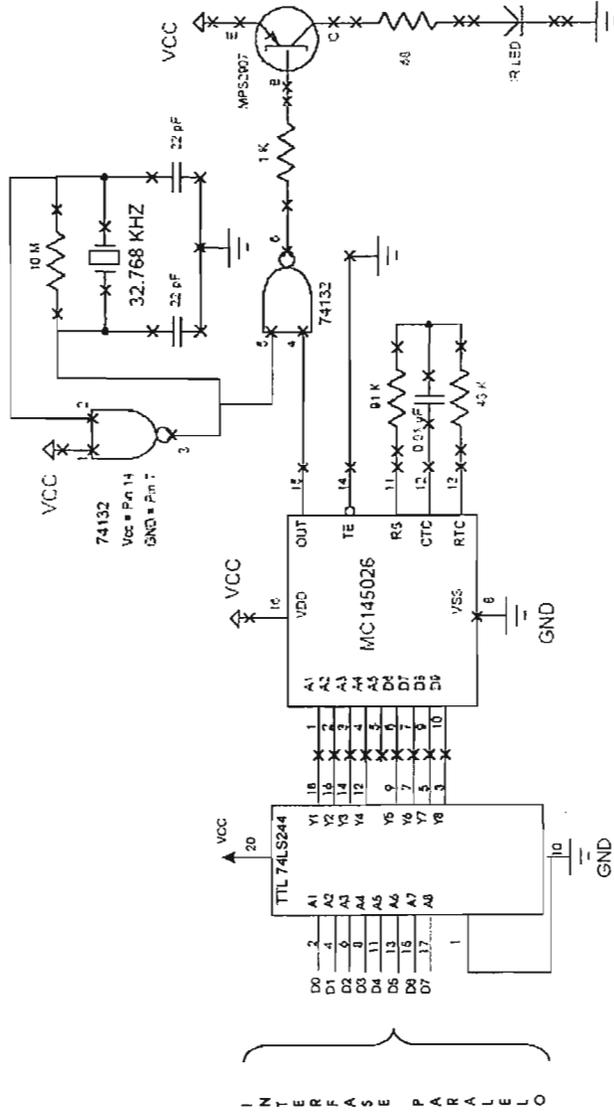


Figura 5.5 Integración de la Protección del Puerto Paralelo y el Transmisor



Este circuito oscilador RC provee de una señal de reloj para la codificación de la palabra de control. El codificador se mantiene activo todo el tiempo mediante la conexión del pin TE a tierra. La información codificada se obtiene a través del pin 15 del codificador para posteriormente ser modulada.

En la figura 5.6 se muestra el esquema del circuito oscilador que provee la señal portadora a una frecuencia de 32.7 KHz. La señal senoidal generada por el oscilador pasa a través de la compuerta NAND 74HC132 y es transformada en una señal digital con la misma frecuencia.

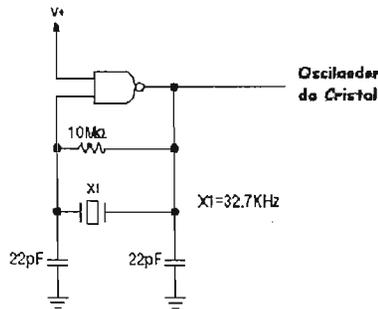


Fig. 5.6 Oscilador generador de portadora

La siguiente etapa es modular la señal proveniente del codificador a la frecuencia de la portadora. Esto es realizado por una compuerta NAND 74HC132.

Una vez que la señal es modulada la última etapa del circuito transmisor es la amplificación de potencia de la señal y su transmisión a través del led infrarrojo al canal de comunicación. La amplificación de potencia de la señal es realizada por el transistor PN2907.

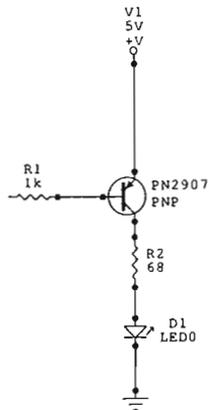


Figura 5.7 Amplificación de la señal

## 5.2 Receptor y Módulos de Potencia

Para una correcta recepción el receptor infrarrojo debe estar alineado con un ángulo máx. de deflexión de 45° y una distancia máx. de 5m con respecto al led del transmisor.

El receptor está diseñado para recibir señales con una frecuencia de 32.7 KHz y a la salida de éste podemos encontrar la señal a la frecuencia en banda base es decir demodulada. La señal entra a una compuerta NAND para quitarle la inversión que se provoco en el transmisor y pasa al decodificador (MC145027) en forma serial, donde cuatro datos son tomados como dirección:

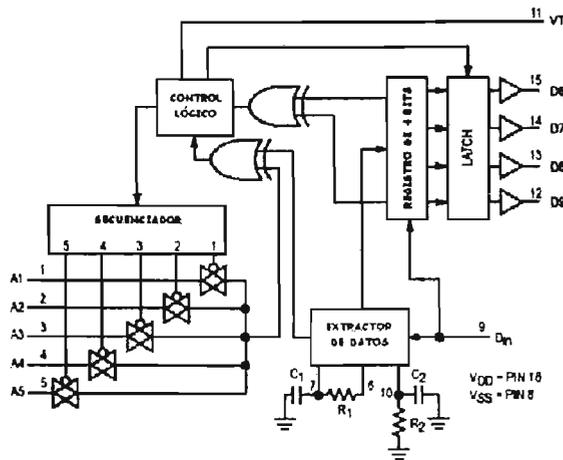
Decodificador A – 0000

Decodificador B – 1111



El diagrama de bloques del decodificador se muestra en la fig. 5.8. Los datos transmitidos son examinados bit por bit durante la recepción (*EXTRACTOR DE DATOS*). Los primeros cinco bits son tomados como la dirección (*SECUENCIADOR*). Los primeros cinco bits son tomados como la dirección.

Si la dirección recibida coincide con la dirección asignada (*SECUENCIADOR*), los siguientes cuatro bits son almacenados internamente (*REGISTRO DE 4-BITS*), pero no son transferidos a la salida. Cuando la segunda palabra codificada es recibida la dirección debe coincidir nuevamente. Si esto ocurre, los nuevos bits de datos son comparados con los almacenados previamente. Si los cuatro bits concuerdan, se activa VT y los datos son transferidos (*LATCH*) a las salidas D6, D7, D8 y D9, donde permanecen hasta ser reemplazados por otros.



5.8 Diagrama de Bloques del Decodificador

El arreglo de compuertas que se muestra a continuación permite tener una señal visible de que existe recepción de datos en el decodificador, así tenemos que cuando uno de los dos decodificadores tiene a VT habilitado el led verde se enciende.

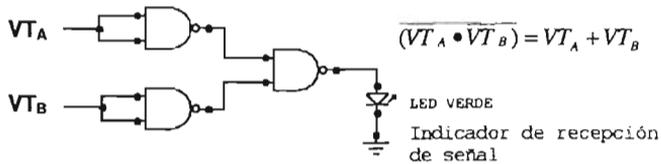


Figura 5.9 Arreglo de compuertas NAND para obtener OR.

Como ya se mencionó en el capítulo 3, el decodificador A controla los movimientos de los motores 1 y 2, mientras que el decodificador B controla los movimientos de los motores 3, 4 y 5.

Las compuertas AND1 y AND2 generan la lógica de funcionamiento del quinto motor en base a la tabla 2.6.

Los diez bits de datos generados por el bloque decodificador del circuito receptor (fig 5.10) son enviados al módulo de potencia que consta de tres CI's L293B que en función de las señales de entrada generan un voltaje y corriente positivos o negativos en el motor para así definir su sentido de rotación.

En la figura 5.10 se muestra el diagrama completo de interconexión del módulo receptor con el modulo de potencia, en el cual se muestra el arreglo de diodos en polarización inversa, los cuales permiten que los motores regresen energía a la fuente.

Las salidas del modulo de potencia son conectadas al panel de distribución en la base del Brazo Robótico donde se conectan los motores.



Figura 5.10 Circuito receptor y de potencia



---

La integración de los módulos anteriores permite a través del programa CONBOT la manipulación en tiempo real de cada una de las articulaciones del Brazo Robótico.

---

---

## CONCLUSIONES

Desde un punto de vista teórico, existe una gran variedad de clasificaciones para los robots, sin embargo, no son clasificaciones excluyentes muchas de ellas y no tienen bien definidos algunos términos lo que puede provocar confusión cuando se desea delinear las características que componen un robot; en el desarrollo de la tesis al clasificar el tipo de robot usado se incluyeron las clasificaciones más generales y excluyendo algunas de ellas por no estar bien delimitadas.

Las computadoras son máquinas muy versátiles y poderosas pero a la vez son delicadas y de una manera sencilla para proteger los sistemas y dispositivos que se usan, se utiliza un circuito que proporciona protección al puerto paralelo.

Los brazos robóticos tienen dos usos fundamentales, la industria y la enseñanza; debido a que el brazo robótico utilizado fue proporcionado por el laboratorio de dispositivos lógicos programables de la facultad de Ingeniería nuestro proyecto está enfocado en un brazo didáctico, su uso está limitado por el brazo pero el código es abierto para su modificación y poder acceder a otros niveles de control.

El brazo robótico utilizado fue proporcionado por el laboratorio de dispositivos lógicos programables de la facultad de Ingeniería. El presente proyecto pretende apoyar la enseñanza de la manipulación del brazo robótico sin requerir microcontroladores y dispositivos electrónicos más avanzados.

El software de control está programado en un lenguaje de alto nivel y sencillo para que sea portable ya que tener adaptabilidad es muy importante en la actualidad y puede ser manejado a través de cualquier computadora que posea un ambiente Windows.

La programación sencilla a veces tiene inconvenientes, el lenguaje usado no provee de herramientas para manejar el puerto paralelo de la PC, por lo que se tuvo que integrar una librería hecha en C++ que logra que VB pueda acceder al puerto paralelo tanto para mandar datos como para obtener datos de este, y así enviar la información para el control del brazo robótico.

---

---

El brazo requiere diez señales de control sin embargo el puerto solo nos proporciona ocho por lo cual se tuvo que implementar una lógica de control que permite controlar casi simultáneamente todo el brazo robot.

El dispositivo emisor es económico, proporciona características necesarias para el envío de información en infrarrojo, algunos inconvenientes que presenta es la poca potencia de la señal. Durante el diseño de los circuitos se tuvieron varias dificultades, los dispositivos que se utilizan, en el caso del transmisor y receptor solo manejan 4 bits de datos, los cuales son insuficientes para el esquema original, lo cual represento trabajo extra para el diseño del código usado y el empleo de un decodificador extra, sin embargo no se logró encontrar otros CI lo suficientemente flexibles que fuesen capaces de enviar 8 bits para esta función.

El dispositivo infrarrojo utilizado no requiere licencia, es comercial, de límites relativamente cortos. Los leds comerciales para el infrarrojo tienen un alcance que es relativamente corto, pero es suficiente para cubrir las expectativas del proyecto.

Este proyecto permite ejemplificar conceptos de comunicaciones, programación y electrónica, como son la modulación y demodulación de señales, transmisión de información, lenguajes de programación y seguidores de corriente, circuitos RC, entre otros.

El diseño del sistema a través de infrarrojo no nos exigió el uso de equipo de alta frecuencia que puede ser caro o escaso.

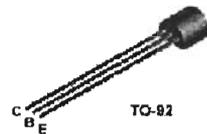
El control del brazo robótico es un modelo de lazo abierto, sin embargo para aplicaciones en las cuales se requiera, se podría obtener retroalimentación mediante algunos sensores que indiquen el estado del B.R., esta adición requiere un canal bidireccional, así como ajustes en el programa para obtener los datos del puerto paralelo y en el circuito de protección del mismo, sin embargo este proyecto es viable como un proyecto adicional para otra tesis

# Anexo 1

## PN2907

### Amplificador de propósito general PNP

Este dispositivo está diseñado para los amplificadores e interruptores del propósito general que requieren corrientes de colector hasta de 500 mA.



Grados Máximos Absolutos \*  $T_A = 25^\circ\text{C}$  a menos que se indique en forma diferente

Símbolo	Parámetro	Valor	Unidad
$V_{CE0}$	Voltaje Colector-Emisor	40	V
$V_{CB0}$	Voltaje Colector-Base	60	V
$V_{EB0}$	Voltaje Emisor-Base	5.0	V
$I_C$	Corriente de Colector – continua	800	mA
$T_J, T_{stg}$	Rango de temperaturas del paquete en funcionamiento y en almacenaje	-55 a +150	$^\circ\text{C}$

\* Estos grados son los valores límites sobre los cuales la utilidad de cualquier dispositivo semiconductor puede ser deteriorada.

#### NOTAS:

- 1) estos grados se basan en una temperatura de ensambladura máxima de  $150^\circ\text{C}$ .
- 2) éstos son límites del estado constante. El fabricante debe ser consultado sobre los usos que implican operaciones de ciclo pulsadas o bajas de deber.

Características eléctricas  $T_A = 25^\circ\text{C}$  a menos que se indique en forma diferente

Símbolos	Parámetros	Condiciones de prueba	Min.	Máx.	Unidad
<b>CARACTERÍSTICAS APAGADO</b>					
$V_{BRICEO}$	Voltaje De Interrupción Del Colector-Emisor*	$I_C = 10\text{ mA } I_E = 0$	40		V
$V_{BRUCBO}$	Voltaje De Interrupción del Colector-Base	$I_C = 10\text{ }\mu\text{A } I_E = 0$	60		V
$V_{BREBO}$	Voltaje De Interrupción De la Emisor-Base	$I_E = 10\text{ }\mu\text{A } I_C = 0$	5.0		V
$I_{CEX}$	Corriente de corte del colector	$V_{CE} = 30\text{V}$		50	nA
$I_B$	Corriente de corte de la base	$V_{BE} = 0.5\text{ V}$		50	nA
$I_{CBO}$	Corriente de corte del colector	$V_{CB} = 50\text{ V } I_E = 0$ $V_{CB} = 50\text{ V } I_E = 0$ $T_A = 150^\circ\text{C}$		20 20	nA $\mu\text{A}$

CARACTERÍSTICAS ENCENDIDO*					
$H_{fe}$	DC Ganancia de Corriente	$V_{CE} = 10\text{ V } I_C = 0.1\text{ mA}$	35		
		$V_{CE} = 10\text{ V } I_C = 1.0\text{ mA}$	50		
		$V_{CE} = 10\text{ V } I_C = 10\text{ mA}$	75		
		$V_{CE} = 10\text{ V } I_C = 150\text{ mA}$	100		
		$V_{CE} = 10\text{ V } I_C = 500\text{ mA}$	30	300	
$V_{CE(sat)}$	Voltaje de Saturación Colector-emisor	$I_C = 150\text{ mA } I_B = 15\text{ mA}$ $I_C = 500\text{ mA } I_B = 50\text{ mA}$		0.4	V
				1.6	V
$V_{BE(sat)}$	Voltaje de saturación Base-emisor	$I_C = 150\text{ mA } I_B = 15\text{ mA}$ $I_C = 500\text{ mA } I_B = 50\text{ mA}$		1.3	V
				2.6	V
CARACTERÍSTICAS DE SENAL PEQUENA					
$C_{ob}$	Capacitancia de Salida	$V_{CE} = 10\text{ V } f = 1.0\text{ MHz}$		8.0	pF
$C_{ib}$	Capacitancia de Entrada	$V_{BE} = 2.0\text{ V } f = 1.0\text{ MHz}$		30	pF
$h_{fe}$	Ganancia de señal pequeña	$I_C = 50\text{ mA } V_{CE} = 20\text{ V } f = 100\text{ MHz}$	2.0		
CARACTERÍSTICAS DE CONMUTACIÓN					
$T_{on}$	Tiempo de encendido	$V_{CC} = 30\text{ V } I_C = 150\text{ mA}$		45	ns
$t_d$	Tiempo de retraso	$I_{B1} = 15\text{ mA } PW = 200\text{ ns}$		10	ns
$t_r$	Tiempo de subida			40	ns
$t_{off}$	Tiempo de apagado	$V_{CC} = 6.0\text{ V } I_C = 150\text{ mA}$		100	ns
$t_s$	Tiempo de almacenamiento	$I_{B1} = I_{B2} = 15\text{ mA}$		80	ns
$t_i$	Tiempo de caída			30	ns

\*Prueba de Pulso: ancho de pulso  $\leq 300\mu\text{s}$ , ciclo de trabajo  $\leq 2.0\%$ .

# Anexo 2

## 74AHC244; 74AHCT244 Controlador Octal buffer/línea; 3 estados

### CARACTERÍSTICAS

Protección de ESD:

HBM EIA/JESD22-A114-A

excede 2000 V

MM EIA/JESD22-A115-A

excede 200 V

CDM EIA/JESD22-C101 excede 1000V

Retrasos de propagación balanceada

Todas las entradas tienen la acción de un disparador-

Las entradas aceptan voltajes mayores que VCC

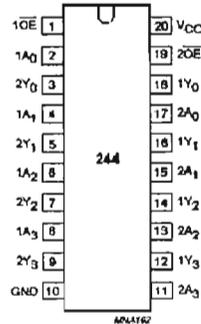
Para AHC solamente:

Funciona con niveles de entrada Cmos

Para AHCT solamente:

Funciona con niveles de entrada TTL

Especificados a partir de -40 a +85 y +125 °C.



Schmitt

### DESCRIPCIÓN

El 74AHC/AHCT244 es un dispositivo de alta velocidad de Puerta de Silicio Cmos.

El 74AHC/AHCT244 es un controlador octal óe buffer/línea no invertida con salidas de 3 estados.

Las salidas de 3 estados son controladas por las salidas habilitadoras de las entradas 1OE y 2OE. Un estado alto en nOE hace las salidas asumir un estado de alta impedancia.

TABLA DE FUNCIONES

ENTRADAS		SALIDAS
nOE	nA <sub>n</sub>	nY <sub>n</sub>
L	L	L
L	H	H
H	X	Z

Notas:

H = nivel alto de voltaje.

L = nivel bajo de voltaje.

X = no importa.

Z = estado de alta impedancia.

### REFERENCIA RÁPIDA

GND= 0 V; Tamb = 25°C; tr = tr ≤ 3.0 ns.

SÍMBOLO	PARÁMETROS	CONDICIONES	TÍPICOS		UNIDAD
			AHC	AHCT	
tPHL/tPLH	Retardo de propagación 1An a 1Yn; 2An a 2Yn	CL = 15 pF; VCC = 5 V	3.5	5.0	ns
CI	capacitancia de entrada	VI = VCC or GND	3.5	3.5	pF
CO	capacitancia de salida		4.0	4.0	pF
CPD	capacitancia de disipación	CL = 50 pF; f = 1 MHz; notas 1 y 2	10	12	pF

Notas:

1. CPD se utiliza para determinar la disipación dinámica de la energía (PD en  $\mu\text{W}$ ).

$$P_D = C_{PD} \times V_{CC}^2 \times f_i + \sum (C_L \times V_{CC}^2 \times f_o)$$

donde:

fi = frecuencia entrada en MHz;

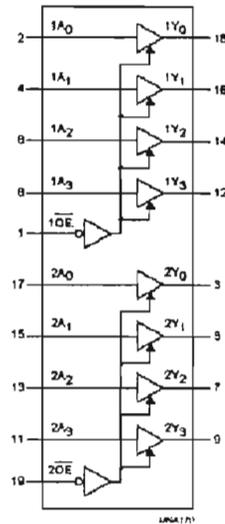
fo = frecuencia de salida en MHz;

$\sum (C_L \times V_{CC}^2 \times f_o)$  = suma de las salidas;

CL = capacitancia de salida de carga en pF;

VCC = Fuentes de voltaje en Volts.

2. la condición es VI = GND a VCC.



CONDICIONES DE OPERACIÓN RECOMENDADAS

SÍMBOLO	PARÁMETROS	74AHC			74AHCT			UNIDADES
		MIN.	TÍPICO	MÁX.	MIN.	TÍPICO	MÁX.	
VCC	Voltaje de fuente	2.0	5.0	5.5	4.5	5.0	5.5	V
VI	Voltaje de entrada	0	-	5.5	0	-	5.5	V
VO	Voltaje de salida	0	-	VCC	0	-	VCC	V
Tamb	Rango Temperatura de operación	-40	+25	+85	-40	+25	+85	°C
		-40	+25	+125	-40	+25	+125	

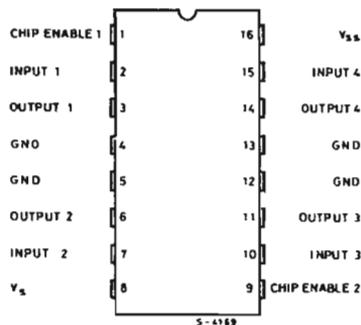
### PUSH-PULL DRIVER DE CUATRO CANALES

- CORRIENTE DE 1A POR CANAL
- CORRIENTE PICO DE 2A POR CANAL
- FACILIDAD DE INHIBICIÓN
- ALTA INMUNIDAD AL RUIDO
- VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN SEPARADO
- PROTECCIÓN A SOBRECALENTAMIENTO

#### DESCRIPCIÓN

El L293B es un push-pull driver capaz de entregar corrientes de hasta 1A por canal. Cada canal es controlado por una entrada lógica compatible TTL y cada par de drivers (un puente completo) es equipado con una entrada de inhibición la cual apaga los cuatro transistores. Una entrada separada de voltaje se usa para la lógica, así se puede usar un menor voltaje para reducir la disipación.

El L293B esta empacado en DIP de 16 pines y usa los pines centrales para conducir calor a la tableta del circuito.



### Rangos máximos absolutos

Símbolo	Parámetro	Valor	Unidad
Vs	Voltaje de alimentación	36	V
Vss	Voltaje de alimentación para lógica	36	V
Vi	Entrada de voltaje	7	V
Vinh	Voltaje de inhibición	7	V
Iout	Corriente pico de salida	2	A
Ptot	Disipación total de potencia a una $T_{\text{pines-tierra}} = 80^{\circ}\text{C}$	5	W
Tstg, Tj	Temperatura de almacenamiento y unión	-40 a +150	$^{\circ}\text{C}$

### Tabla de verdad

Vi (cada canal)	Vo	Vinh
H	H	H
L	L	H
H	X (Alta impedancia)	L
L	X (Alta impedancia)	L

### Características eléctricas

Símbolo	Parámetro	Condición de prueba	Min.	Tip.	Máx.	Unidad
Vs	Voltaje de alimentación		vss		36	V
vss	Voltaje de alimentación para lógica		4.5		36	V
Is	Corriente Total	Vi = L; Io = 0; Vinh = H		2	6	mA
		Vi = h; Io = 0; Vinh = H		16	24	mA
		Vinh = L			4	mA
Iss	Corriente Total para lógica	Vi = L; Io = 0; Vinh = H		44	60	mA
		Vi = h; Io = 0; Vinh = H		16	22	mA
		Vinh = L		16	24	mA
ViL	Voltaje de entrada bajo		-0.3		1.5	V
ViH	Voltaje de entrada alto	VSS ≤ 7V	2.3		Vss	V
		VSS > 7V	2.3		7	V
IiL	Corriente de voltaje bajo	Vii = 1.5V			-10	μA
IiH	Corriente de voltaje alto	2.3V ≤ ViH ≤ VSS - 0.6V		30	100	μA
VinHL	Voltaje de inhibición bajo		-0.3		1.5	V
VinhH	Voltaje de inhibición alto	VSS ≤ 7V	2.3		VSS	V
		VSS > 7V	2.3		7	V
IinhL	Corriente de inhibición voltaje bajo	VinhL = 1.5V		-30	-100	μA
IinhH	Corriente de inhibición de voltaje alto	2.3V ≤ VinhH ≤ VSS - 0.6V			±10	μA
VCEsatH	Voltaje de saturación de salida fuente	Io = -1*		1.4	1.8	V
VCEsatL	Sink Output Saturation Voltage	Io = 1*		1.2	1.8	V
VSENS	Voltaje censado (pines 4, 7, 14, 17)				2	V
tr	Tiempo de levantamiento	0.1 a 0.9 Vo		250		ns
tf	Tiempo de caída	0.9 a 0.1 Vo		250		ns
ton	Retardo de encendido	0.5Vi a 0.5Vo		750		ns
toff	Retardo de apagado	0.5Vi a 0.5Vo		200		ns

# Anexo 4

## Par codificador y decodificador MC145026 y MC145027 CMOS

Estos dispositivos están diseñados para ser utilizados como pares codificador/decodificador en aplicaciones de control remoto. El MC145026 codifica nueve líneas de información y envía en serie esta información cuando TE está habilitado. Las nueve líneas se pueden codificar como datos trinararios (estados bajos, altos, o abiertos) o como datos binarios (bajos o altos). Las palabras se transmiten dos veces por secuencia de codificación para aumentar la seguridad.



Surto D  
Paquete SOG  
Estuche 761B

El decodificador MC145027 recibe el flujo serial e interpreta cinco de los dígitos trinararios como un código de la dirección. Así, 243 direcciones son posibles. Si datos binarios son utilizados en el codificador, 32 direcciones son posibles. La información serial restante se interpreta como cuatro bits de datos binarios. El estado de transmisión válida (VT) pasa a ALTO en el MC145027 cuando se cumplen dos condiciones. Primera, dos direcciones se deben recibir consecutivamente (en una secuencia de codificación) las cuales debe de coincidir con la dirección local. Segunda, los 4 bits de datos deben coincidir con últimos los datos válidos recibidos. El VT activo indica que la información en los pines de salida de datos se han actualizado.

### ASIGNACIÓN DE PINES

MC145026 CODIFICADOR				MC145027/3C41343 DECODIFICADOR			
A1	1	18	V <sub>DD</sub>	A1	1	18	V <sub>DD</sub>
A2	2	15	D <sub>out</sub>	A2	2	15	D8
A3	3	14	TE	A3	3	14	D7
A4	4	13	RTC	A4	4	13	D8
A5	5	12	CTC	A5	5	12	D9
A6/D6	6	11	R <sub>S</sub>	R <sub>1</sub>	6	11	VT
A7/D7	7	10	AB/D9	C <sub>1</sub>	7	10	R <sub>2</sub> /C <sub>2</sub>
V <sub>SS</sub>	8	9	AB/D8	V <sub>SS</sub>	8	9	D <sub>in</sub>

Rango de temperaturas de Funcionamiento: - 40 a + 85°C  
 Corriente de espera muy-baja para el codificador: 300nA máximo @ 25°C.  
 Interfaces con el RF, ultrasónicos, o moduladores y demoduladores de infrarrojo  
 Oscilador RC, Cristal no requerido  
 Alta tolerancia a componentes externos; Pueden Utilizar Componentes ±5%  
 Energía Interna –en el inicio todas las salidas del decodificador van a bajo  
 Rango De Voltaje:  
 MC145026 = 2.5 a 18 V \*  
 MC145027 = 4.5 a 18 V

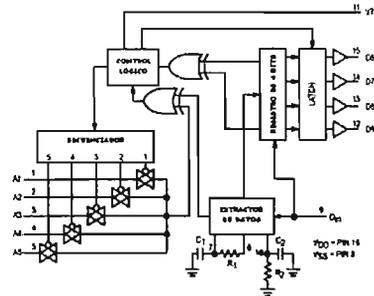
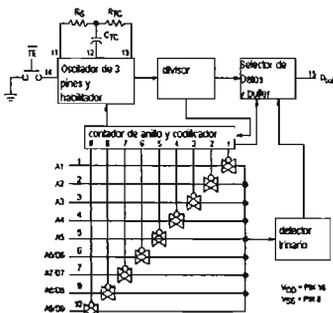


Diagrama de Bloques del Codificador

Diagrama de Bloques del Decodificador

GRADOS MAXIMOS\* (Voltajes referidos a VSS)

Simbolo	Característica	Valor	Unidad
VDD	Voltaje de fuente de DC (excepto SC41343 SC41344)	- 0.5 to + 18	V
VDD	Voltaje de fuente de DC (SC41343 SC41344 only)	- 0.5 to + 10	V
Vin	Voltaje de entrada DC	- 0.5 to VDD + 0.5	V
Vout	Voltaje de salida DC	- 0.5 to VDD + 0.5	V
Iin	Corriente de la entrada de DC por el pin	± 10	mA
Iout	Corriente de la salida de DC por el pin	± 10	mA
PD	Disipación de energía por el paquete	500	mW
Tstg	Temperatura del Almacenaje	- 65 to + 150	°C
TL	Conduce la temperatura 1 milmetro del empaque por 10 segundos	260	°C

\* Los grados máximos son valores más allá de los cuales los daños al dispositivo pueden ocurrir. Este dispositivo contiene circuitos de protección para proteger contra daños debidos a los altos voltajes estáticos o a los campos eléctricos. Sin embargo, precauciones se deben tomar para evitar usos de cualquier voltaje clasificado más arriba que el máximo voltaje a esta alta impedancia. Para la operación apropiada, Vin y Vout se deben estar en un rango VSS ≤(Vin o Vout) ≤VDD.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS — MC145026, MC145027, y MC145028 (Voltaje referido a VSS)

Símbolo	Característica	VDD V	Límite garantizado						Unidad
			- 40°C		25°C		85°C		
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	
VOL	Voltaje de Salida nivel bajo (Vin = VDD or 0)	5.0	—	0.05	—	0.05	—	0.05	V
		10	—	0.05	—	0.05	—	0.05	
		15	—	0.05	—	0.05	—	0.05	
VOH	Voltaje de Salida nivel alto (Vin = 0 or VDD)	5.0	4.95	—	4.95	—	4.95	—	V
		10	9.95	—	9.95	—	9.95	—	
		15	14.95	—	14.95	—	14.95	—	
VIL	Voltaje de entrada nivel bajo (Vout = 4.5 or 0.5 V) (Vout = 9.0 or 1.0 V) (Vout = 13.5 or 1.5 V)	5.0	—	1.5	—	1.5	—	1.5	V
		10	—	3.0	—	3.0	—	3.0	
		15	—	4.0	—	4.0	—	4.0	
VIH	Voltaje de entrada nivel alto (Vout = 0.5 or 4.5 V) (Vout = 1.0 or 9.0 V) (Vout = 1.5 or 13.5 V)	5.0	3.5	—	3.5	—	3.5	—	V
		10	7.0	—	7.0	—	7.0	—	
		15	11	—	11	—	11	—	
IOH	Corriente de salida nivel alto (Vout = 2.5 V) (Vout = 4.6 V) (Vout = 9.5 V) (Vout = 13.5 V)	5.0	- 2.5	—	- 2.1	—	- 1.7	—	mA
		5.0	- 0.52	—	- 0.44	—	- 0.36	—	
		10	- 1.3	—	- 1.1	—	- 0.9	—	
		15	- 3.6	—	- 3.0	—	- 2.4	—	
IOL	Corriente de salida nivel bajo (Vout = 0.4 V) (Vout = 0.5 V) (Vout = 1.5 V)	5.0	0.52	—	0.44	—	0.36	—	mA
		10	1.3	—	1.1	—	0.9	—	
		15	3.6	—	3.0	—	2.4	—	
Iin	Corriente de entrada — TE (MC145026 Pull-Up Device)	5.0	—	—	3.0	11	—	—	µA
		10	—	—	16	60	—	—	
		15	—	—	35	120	—	—	
Iin	Corriente de entrada RS (MC145026) Din (MC145027 MC145028)	15	—	±0.3	—	±0.3	—	±1.0	µA
Iin	Corriente de entrada A1 - A5 A6/D6 - A9/D9 (MC145026) A1 - A5 (MC145027) A1 - A9 (MC145028)	5.0	—	—	—	±110	—	—	µA
		10	—	—	—	±500	—	—	
		15	—	—	—	±1000	—	—	
Cin	Capacitancia de entrada (Vin = 0)	—	—	—	—	7.5	—	—	pF
IDD	Corriente estacionaria MC145026	5.0	—	—	—	0.1	—	—	µA
		10	—	—	—	0.2	—	—	
		15	—	—	—	0.3	—	—	
IDD	Corriente estacionaria MC145027 MC145028	5.0	—	—	—	50	—	—	µA
		10	—	—	—	100	—	—	
		15	—	—	—	50	—	—	
Idd	Corriente de fuente dinamica MC145026 (fc = 20 kHz)	5.0	—	—	—	200	—	—	µA
		10	—	—	—	400	—	—	
		15	—	—	—	600	—	—	
Idd	Corriente de fuente dinamica MC145027 MC145028 (fc = 20 kHz)	5.0	—	—	—	400	—	—	µA
		10	—	—	—	800	—	—	
		15	—	—	—	1200	—	—	

---

---

## **BIBLIOGRAFÍA**

LEON W. COUCH II

"Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos", Quinta Edición, Prentice Hall, México 1998.

ANDREW S. TANENBAUM

"Redes de Computadoras", Cuarta Edición, Pearson Prentice Hall, México 2003.

HILDEBERTO JARDÓN AGUILAR

"Introducción a los Sistemas de Comunicación", Alfa Omega, México 2002

ANTONIO SÁNCHEZ

"Principios Básicos de la Robótica. DISA. UPV.

JOSÉ MA. ANGULO, JOSÉ SÁNCHEZ

"Guía Fácil de Robótica", Paraninfo.

MIKELL P. GROOVER, MITCHELL WEISS, ROGER N. NAGEL, NICHOLAS G. ODREY

"Robótica Industrial, Tecnología Programación y Aplicaciones", Mc. Graw Hill.

JOSÉ MA. ANGULO, RAFAEL AVILÉS

"Curso de Robótica", Paraninfo.

MOHAN, UNDELAND, ROBBINS.

Power Electronics: converters, applications and design. Edit. John Wiley & Sons, 1989.

S. RAMA, REDDY.

Fundamentals of power electronics. Edit. CRC Press, 2000.

---

MULTAMMAD H. RASHID

Power Electronics, circuits, devices and applications. Edit. Prentice Hall, 1993.

OGATA, KATSUHIKO.

Ingeniería de control moderna. Edit. Prentice Hall, 1974.

MILLMAN, JACOB.

Circuitos de pulsos, digitales y de conmutación. Edit. McGraw Hill, 1971.

LUIS NAVARRO LARRED.

Visual Basic a Fondo. Ed. Inforbook 's

MARSTOM R.M.

Circuitos Digitales TTL. Ed. Paraninfo.