

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN
DE UN ESPECTRÓMETRO”

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el grado de Licenciado
en Ciencias de la Computación

Presenta

Beatriz Naredo Lara

ASESORADA POR :

M.C. Esteban Torres León

Junio 2009

Contenido

Introducción

1 Espectro y Espectrómetro.	1
1.1 Espectro Electromagnético	1
1.2 Espectro de Luz Visible	4
1.2.1 Espectro de Emisión	5
1.2.2 Espectro de Absorción	6
1.3 Espectrómetro	6
2 Conceptos Básicos de Fototransistores y LED's	9
2.1 Fototransistores.....	9
2.1.1 Teoría del fototransistor.....	10
2.1.2 Características del Fototransistor	11
2.1.3 Ventajas y Desventajas del Fototransistor	13
2.1.4 Aplicación de fototransistores.....	14
2.2 Diodos Emisores de Luz.....	14
2.2.1 Funcionamiento del LED	16
2.2.2 Aplicaciones de LED's	18
3 Convertidores, Comparadores y Buses.	19
3.1 Comparador de Magnitudes	19
3.2 Convertidores D/A y A/D.....	21
3.2.1 Señales Digitales y Analógicas	21
3.2.2 Convertidores Digital - Analógico	23

3.2.3	Convertidores Analógico-Digital.....	27
3.3.1	Buses.....	35
3.3.2	Diferentes Arquitecturas de Buses	36
3.3.3	Bus S - 100	38
4	Descripción del Sistema	42
4.1	Diagrama a Bloques del Sistema	43
4.2	Descripción del Circuito.	46
4.3	Programación del Sistema	50
5	Perspectivas.	54
6	Conclusiones.	55
	Bibliografía	56

Introducción

Hasta antes de la invención de la microcomputadora llevar a la práctica un experimento en cualquier área de la ciencia resultaba sumamente costoso, debido a que pocas instituciones tenían acceso a este tipo de equipo y además pocas computadoras soportaban cierto tipo de aplicaciones.

Sin embargo, desde la invención de estas se abrieron un sin número de expectativas en todas las áreas de la ciencia, debido al bajo costo y las interfaces que ofrecen éstas.

Una de las áreas de la ciencia a la que permitió comprobar sus teorías es la física, como es el objetivo de este sistema. El cual nos permitirá analizar y detectar el color de una superficie.

Para llevar a la práctica este sistema fue necesario dividirlo en los siguientes capítulos.

En el capítulo 1 se estudiará el espectro de luz visible, el cual esta dentro del espectro electromagnético. Se mencionarán diferentes tipos de espectrómetros, los cuales nos permiten analizar el espectro relacionado con éstos.

Dentro del capítulo 2 se definirán los conceptos básicos de fototransistores y LED's, los cuales son componentes optó electrónicos, siendo estos capaces de convertir energía luminosa en eléctrica y viceversa.

En el capítulo 3 se describen los conceptos de Comparadores, Convertidores y buses, así como diferentes tipos de los mismos.

En el capítulo 4 se detalla la descripción del sistema, es decir, el diagrama a bloques, la descripción del circuito y la programación del mismo.

Capítulo 1

Espectro y Espectrómetro.

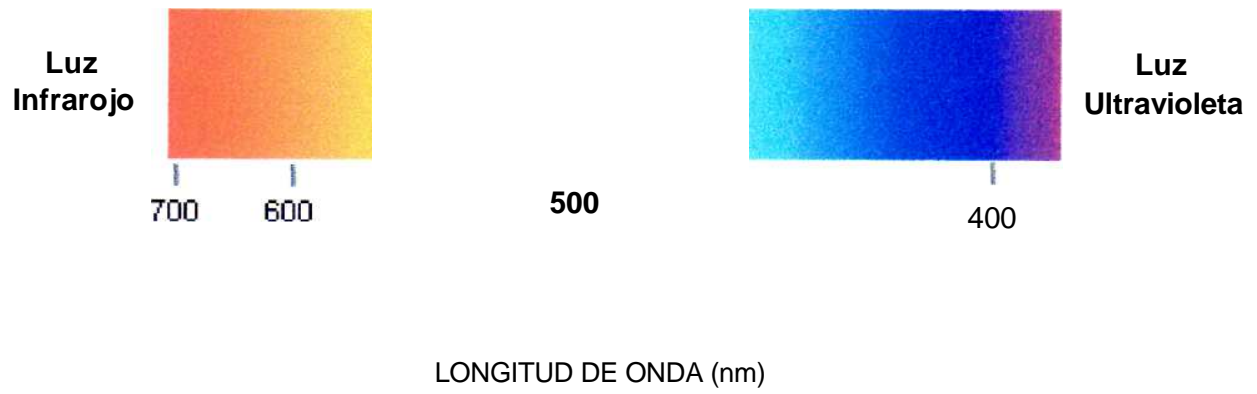
Cada sustancia tiene su propio espectro que la caracteriza y permite reconocerla. Para el estudio de espectros no se usa simplemente un *prisma*; el aparato empleado es el *espectroscopio*; es importante señalar que, aunque más complicado que un simple prisma, el corazón de tal aparato es un pequeño prisma productor del espectro.

Los rayos luminosos productores de los distintos colores no se desvían en la misma proporción. Así, los rayos rojos se desvían menos que los anaranjados y éstos menos que los amarillos. Los rayos violetas son los que sufren una desviación mayor. De manera que cuando el rayo de luz solar atraviese el prisma, cada uno de los rayos coloreados que los componen se desvía según un ángulo diferente. El rojo aparece al comienzo de la banda de colores porque es el que desvía menos; el violeta, que sufre mayor desviación, aparece al final.

1.1 Espectro Electromagnético.

Las ondas electromagnéticas cubren una amplia gama de frecuencias o de longitudes de onda y pueden clasificarse según su principal fuente. La clasificación no tiene límites precisos, ya que fuentes diferentes pueden producir ondas en intervalos de frecuencia superpuestos parcialmente, como se muestra en la figura 1.1.

ESPECTRO DE LUZ VISIBLE



A continuación se definirá muy brevemente la clasificación de los elementos del Espectro Electromagnético, enfatizando en la siguiente sección el estudio del *Espectro de Luz Visible*.

Ondas de Radiofrecuencia. Estas tienen longitudes de onda que van desde algunos kilómetros a 0.3m . Se denominan ondas de radio por ser las que emplean las estaciones de radio comunicación o radio difusión, para realizar sus transmisiones. En toda estación de radio existen circuitos eléctricos especiales que provocan la oscilación de electrones en la antena emisora.

Microondas. Las longitudes de onda de las microondas están entre 0.3 m y 10^{-3}m . Estas ondas se usan en el radar y otros sistemas de comunicaciones, así como también en el análisis de detalles muy finos de la estructura atómica y molecular; se generan también con dispositivos electrónicos. La región de las microondas se suele denominar UHF (del inglés Ultra High Frequency, Frecuencias Ultra Altas).

Espectro Infrarrojo. Cubre las longitudes de onda entre 10^{-3}m y $7.8 \times 10^{-7}\text{m}$. Estas ondas son producidas por cuerpos calientes y moléculas, y tienen muchas aplicaciones en la industria, la medicina, la astronomía.

Espectro Ultravioleta. Cubren desde $3.8 \times 10^{-7}\text{m}$ hasta alrededor de $6 \times 10^{-10}\text{m}$. Estas ondas son producidas por átomos y moléculas en descargas eléctricas. Su energía es del orden de magnitud de la energía involucrada en muchas reacciones químicas, que explica muchos de sus efectos químicos.

Rayos X. Esta parte del espectro electromagnético abarca una gama de longitudes de onda entre 10^{-9}m y 6×10^{-12} aproximadamente. Los rayos X son producidos por los electrones atómicos más fuertemente ligados. Una fuente de rayos X es el tubo de rayos catódicos. Una de las principales aplicaciones es en el área de la medicina.

Rayos Gamma. Estas ondas electromagnéticas son de origen nuclear y se superponen al límite superior del espectro de rayos X; sus longitudes de onda van desde alrededor de 10^{-10} m hasta mucho menos de 10^{-14}m . Estos rayos son producidos

por muchas sustancias radioactivas y están presentes en grandes cantidades en los reactores nucleares.

1.2 Espectro de Luz Visible

La luz blanca es en realidad una mezcla de diferentes colores los del *espectro visible*, cada uno de ellos con longitudes de onda (y frecuencias) diferentes. Hablamos usualmente de los siete colores espectrales: el rojo (máxima longitud de onda), naranja, amarillo, verde, azul, añil y violeta (mínima longitud de onda); pero de hecho no existen fronteras definidas entre ellos; se funden entre sí, como los colores del arco iris, dando lugar a un espectro continuo.

La luz blanca se separa en sus colores (longitudes de onda) constitutivos cuando pasa, en un ángulo determinado, de un medio de una densidad a otro de densidad diferente, por ejemplo del aire al vidrio. Este fenómeno se llama dispersión. Las ondas de diferente longitud se propagan en el segundo medio a velocidades ligeramente diferentes y su ángulo de refracción también es, por esa razón, algo diferente. Como consecuencia, la luz blanca sale dispersa del medio en cuestión con sus colores componentes separados en forma de espectro.

El espectro visible es una banda angosta formada por las longitudes de onda a las cuales nuestra retina es sensible. Se extiende en longitudes de onda desde $7.8 \times 10^{-7} \text{m}$ y frecuencias desde $4 \times 10^{14} \text{Hz}$ hasta $8 \times 10^{14} \text{Hz}$, la energía de los fotones va desde 1.6eV hasta 3.2eV aproximadamente. La luz es producida por átomos y moléculas como resultado del ajuste interno del movimiento de sus componentes, principalmente los electrones. La luz es tan importante que ha dado lugar al desarrollo de una rama de la física aplicada, llamada óptica. La óptica trata los fenómenos luminosos y la visión, incluyendo el diseño de instrumentos ópticos. El campo de la óptica incluye actualmente, además del espectro visible, el infrarrojo y el ultravioleta, por la similitud entre el comportamiento de ambos y el de aquél. Las diferentes sensaciones que la luz produce en el ojo, que se denominan *colores*, dependen de la frecuencia (o de la longitud de onda) de la onda electromagnética y corresponden a los siguientes

CAPÍTULO 1. ESPECTRO Y ESPECTRÓMETRO.

intervalos para la persona promedio.

color	λ, m	ν, Hz
violeta	$3.90-4.55 \times 10^{-7}$	$7.69 - 6.59 \times 10^{14}$
azul	4.55 - 4.92	6.59 - 6.10
verde	4.92- 5.77	6.10-5.20
amarillo	5.77- 5.97	5.20 - 5.03
naranja	5.97 - 6.22	5.03 - 4.82
rojo	6.22 - 7.80	4.82-3.84

Tabla 1.2 Longitudes de Onda y Frecuencia del Espectro de Luz Visible

La sensibilidad del ojo también depende de la longitud de onda de la luz; esta sensibilidad es máxima para longitudes de onda de 5.6×10^{-7} aproximadamente. Es por la relación entre color y longitud de onda o frecuencia de la luz que una onda electromagnética de frecuencia o longitud de onda definida se denomina también onda monocromática (monos: uno; chromos: color). Dentro del Espectro de Luz Visible podemos encontrar el Espectro de Emisión y el Espectro de Absorción, los cuales definiremos a continuación.

1.2.1 Espectro de Emisión

Para estudiar el espectro de una sustancia, lo que hace es simplemente captar un rayo de luz proveniente de ella. Este atraviesa el prisma y se descompone en forma análoga con respecto al espectro solar. Cuando llega directamente de la sustancia el espectro obtenido se llama *espectro de emisión*. Este varía según la sustancia de que se trate, el estado en que se encuentre y el modo de producir la emisión de luz. Por lo tanto al calentar un elemento simple hasta la incandescencia se produce un *Espectro de Emisión*.

1.2.2 Espectro de Absorción

Así como una sustancia dada, al ser calentada hasta la incandescencia, emite luz de longitudes de ondas específicas, el vapor de esa sustancia, a una temperatura inferior, absorbe luz de esas mismas longitudes. El espectro correspondiente a las longitudes de onda absorbidas (no a las emitidas) recibe el nombre de *espectro de absorción*. Suele adoptar la forma de una secuencia de líneas o bandas oscuras, dentro de un espectro de luz continuo. Igual que los espectros de emisión, los de absorción pueden ser empleados para detectar los elementos constitutivos del vapor en cuestión, a través de las líneas oscuras, conocidas como líneas de Fraunhofer en memoria de su descubridor, Joseph Von Fraunhofer.

El espectro de absorción del Sol no revela los elementos químicos existentes en sus capas más externas, que absorben parte de la energía radiada desde el interior del astro rey. (Por esa razón, es esa abrasadora región interior la que produce el espectro de emisión continuo). Vemos, por ejemplo, cómo un par de líneas oscuras de la parte amarilla del espectro de absorción indican la presencia de vapor de sodio; otras líneas nos demuestran que allí también hay hielo: gas producido por la fusión termonuclear de hidrógeno en las profundidades del Sol.

1.3 Espectrómetro.

Una vez definidos los diferentes tipos de espectros, mencionaremos algunos ejemplos de espectrómetros. Un espectrómetro es un aparato que sirve para estudiar y medir los espectros ópticos o electrónicos.

- Espectrómetro de Luz Visible.
- Espectrómetro de Longitud de Onda Corta.
- Espectrómetro Infrarojo (IR).

Espectrómetro de Luz Visible

En un espectrómetro, la luz pasa primero por un colimador, compuesto por una estrecha ranura y una lente convexa, las cuales producen un rayo de luz en paralelo. Ese rayo se dirige en ángulo hacia un prisma, que lo refracta y dispersa en sus colores espectrales. Emergen del prisma rayos paralelos de colores diferentes, que pasan después por una segunda lente convexa, que los hace pasar por un foco. El espectro resultante se puede ver a través de un telescopio de poca potencia, recoger en una película fotográfica, o registrar en cierto tipo de detectores. Se puede utilizar también una rejilla difractora para producir espectros.

Espectrómetro Infrarojo (IR)

Las moléculas son capaces de absorber energía electromagnética en la región Infraroja (*IR*) del espectro electromagnético. La radiación *IR* tiene el nivel apropiado de energía para excitar vibracionalmente el movimiento de una molécula de r cadenas. Cada tipo de cadena, entre los diferentes átomos, absorbe la radiación *IR*, e inicia una vibración en pequeñas frecuencias, diferentes una de otra. Estos fenómenos pueden ser utilizados para examinar varias moléculas, observando las diferentes vibraciones de signos iónicos. Un espectro *IR*, es obtenido primero irradiando una muestra con un haz de luz. La luz pasa a través de la muestra, la cual puede estar en una solución o contenida dentro de una placa salina, dentro de un detector de luz de rayos infrarrojos. El espectro es analizado para examinar en donde se encuentra su máxima frecuencia. Diferentes frecuencias máximas indican diferentes tipos de movimiento vibracional y por lo tanto, diferentes tipos de cadenas químicas. La máxima intensidad es usualmente denotada como transmisión porcentual (%T), la cual compara la cantidad de luz absorbida con la cantidad de luz *IR* que no fue absorbida. La frecuencia es normalmente listada en longitud de onda.

Espectrómetro de Longitud de Onda Corta (SWS)

El Espectrómetro de longitud de onda corta (*SWS*) permite obtener datos más exactos de resolución espectral en longitudes de onda infrarroja. Este se encuentra dividido en dos mecanismos, uno de longitud de onda Corta y el otro de longitud de onda larga; éste suministra luz a cuatro conjuntos de detectores.

Dos Sistemas Filtrados (FP) pueden ser insertados dentro de la trayectoria de luz de longitud de onda larga y a su vez alimentan dos conjuntos de detección. El *SWS* se puede observar en una longitud de onda de 2.4 a 45 μ m, dividido en cuatro regiones, con resoluciones espectrales en un rango de 1000 a 2500 dependiendo de la longitud de esta o con una velocidad de resolución de entre 300 y 150kms.

Capítulo 2

Conceptos Básicos de Fototransistores y LED's

En este capítulo se definirán los conceptos básicos de fototransistores y led's. Ambos son componentes optó electrónicos. El primero de estos es capaz de controlar cambios de energía eléctrica a partir de una excitación luminosa y los LED's tiene la capacidad de emitir energía luminosa en base a una corriente eléctrica.

2.1 Fototransistores

El fototransistor tiene su estructura semejante a la de un transistor bipolar o unipolar. Un fototransistor es un dispositivo que controla el flujo de corriente de luz. Básicamente, algún transistor funcionaría como un fototransistor si el chip es expuesto a la luz, ya que ciertas técnicas de diseño son usadas para optimizar el efecto de un fototransistor.

Los fototransistores son usados para técnicas de diseño especial, así como el circuito que usan ellos. El circuito diseñado puede suplementar estos circuitos convencionales conociendo la terminología y relaciones ópticas y de energía radiante. Esta nota presenta la información necesaria para suplementar lo conocido. Esto contiene un corto repaso de teoría y características de fototransistores seguidos por la discusión de detalles sujetos a Irradiancia, iluminancia, y/o ética y

otros significados de fototransistores. Una distinción es hecha entre baja frecuencia/diseño de estado estable y diseño de alta frecuencia. El uso de la información del diseño es entonces demostrado con una serie de típicos Sistemas opto-electrónicos.

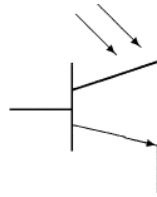


Figura 2.1 Símbolo del Foto transistor

2.1.1 Teoría del fototransistor

La operación del fototransistor es un resultado del foto-efecto en sólidos, o más específicamente en semiconductores. La luz de cierta longitud de onda generaría pares electrón-hueco en el transistor, y un voltaje aplicado causaría que estos portadores se movieran, esto causa el flujo de corriente. La intensidad de la luz aplicada determinaría el número de pares portadores generados y así la magnitud del flujo de corriente resultante. En un fototransistor la actual generación hecha de portadores de carga es situada en la vecindad de la unión de colector-base. Como se muestra en la figura 2.2 para dispositivos *NPN*, la fotogeneración de huecos es más grande en la base. En particular un hueco generado en el colector sobraría aquí, temporalmente un hueco generado en el colector sería empujado hacia la base por el fuerte campo de la unión. El mismo proceso resultaría en electrones tendiendo a acumularse en el colector. La carga realmente no se acumularía, como quiera, y probaría eventualmente para distribuirse por todas partes en las regiones del cristal, consecuentemente la difusión de huecos a través de la región de base en dirección de la unión del emisor, cuando ellos alcanzan la unión, ellos serían inyectados en el emisor. Esto a su vez causaría que el emisor inyecte electrones en la base. Puesto

que la inyección en el emisor es más eficiente y mucho más larga que la inyección de la base, de cada inyección de huecos resultarían muchas inyecciones de electrones, este es el punto para la acción de un transistor normal. La inyección de electrones en el emisor hace que viajen a través de la base y sean enfocados hacia el colector, allí, ellos combinarían sus electrones foto-indicados en el colector para operar en la terminal de colector como corriente.

Puesto que la actual foto generación de portadores ocurre en la región de colector-base, el área de esta región es larga, son generados más portadores, el transistor es diseñado para tener un área grande para que la luz incida en el.

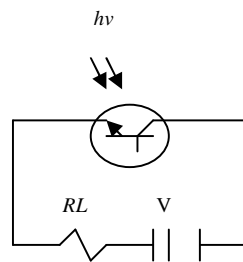


Figura 2.2 Portadores de Carga en un Fototransistor

2.1.2 Características del Fototransistor.

La operación del fototransistor está basada en la sensibilidad de una unión *PN* para energía radiante. Si la energía radiante de longitud de onda propia es hecha incidir sobre una unión, la corriente a través de la unión puede incrementarse. Este fenómeno optó electrónico fue proveído para diseñar circuitos con un dispositivo, el cual puede usarse en una amplia variedad de aplicaciones. Sin embargo para hacer un uso óptimo del fototransistores, el diseño debe tener un gran alcance; siendo ésta su principal operación y característica.

Si la unión *pn* discutida es hecha para un transistor bipolar como diodo, la foto corriente inducida en el transistor es la corriente de base. La ganancia de corriente

del transistor resulta así en una corriente colector-emisor de:

$$I_c = (h f_e + 1) I_\lambda \quad (2.1.1)$$

donde:

- I_c es la corriente de colector,
- $h f_e$ es la siguiente ganancia de la corriente,
- I_λ es la foto-corriente inducida en la base.

La terminal de base puede quedar flotando, o puede ser conectada a un nivel deseado. En otros casos, la unión colector-base en polarización inversamente en el diodo, es la corriente de fuga, así la foto-estimulación puede resultar un incremento significativo en el diodo, o en la corriente de base y con una ganancia de corriente, puede resultar un incremento significativo en la corriente de colector.

La foto corriente inducida en la base es retornada para el colector a través del emisor y de ahí al circuito externo. Así que los electrones son suministrados a la región de base por el emisor donde son desplazados hacia el colector por el campo eléctrico E .

El modelo del fotodiodo en la figura 2.3 puede ser aplicado al fototransistor, ya que puede ser así severamente limitado. Un modelo más útil puede ser obtenido usando el modelo híbrido-pi del transistor y añadiendo la foto corriente generada entre el colector y base.

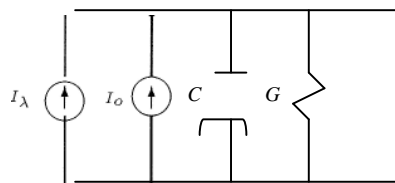


Figura 2.3 Modelo Aproximado de un Fototransistor.

Características de Conmutación de Fototransistores.

En aplicaciones de conmutación existen dos importantes requerimientos del transistor:

1. Velocidad
2. Voltaje de encendido

Puesto que algunos conductores ópticos pueden proporcionar pulsos de luz rápidos para fototransistores, las dos consideraciones son aplicadas.

Características Propias del Fototransistor

- Sensibilidad Espectral. Indica la relación entre la corriente generada y el flujo luminoso incidente (expresada en Amperios "yI//m"), y depende principalmente de los materiales semiconductores y su dopado.
- Directividad. Es una gráfica que nos representa la respuesta del componente en función al ángulo de incidencia de radiación, esta relación depende de la forma de la ventana de exposición y de su capacidad para concentrar las radiaciones incidentes.

2.1.3 Ventajas y Desventajas del Fototransistor

El fototransistor tiene algunas ventajas y desventajas principales con respecto a los fotodiodos, las cuales son:

Ventajas:

- Mayor sensibilidad.
- Mayor corriente de salida.

Desventajas:

- Menor velocidad de conmutar.

2.1.4 Aplicación de fototransistores.

Los fototransistores puede ser usados en una amplia variedad de aplicaciones. La figura 2.4 muestra 2 fototransistores en serie. Como Q_1 es conmutado a encendido, Q_2 esta en apagado y cuando Q_1 es conmutado a apagado, Q_2 esta en encendido. En general el fototransistor puede ser usado en circuitos como:

- Contadores indicadores de nivel.
- Circuitos de alarma.
- Tacómetros y en varios procesos de control.

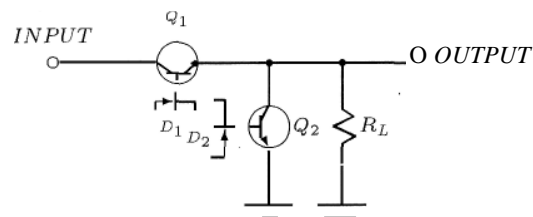


Figura 2.4 Fototransistores en Serie.

2.2 Diodos Emisores de Luz

El diodo emisor de luz (LED) es un dispositivo que al polarizarse en sentido directo emite radiación electromagnética, que va desde el infrarojo al visible, dependiendo del ancho de la banda prohibida de los semiconductores empleados al hacer la unión $P-N$.

Cuando una unión $P-N$ se polariza directamente, los electrones la atraviesan para recombinarse con los huecos; al pasar de un nivel de energía superior a otro

inferior liberan energía que, en los diodos normales, se disipa en forma de energía calorífica.

Cuando la composición del semiconductor es apropiada, aparece dicha energía en forma de radiaciones visibles (fotones), que son de diferente longitud de onda en función de dicho material. Así, el Arseniuro de Galio (As Ga) emite luz roja, cuya longitud de onda es de 850nm; el Fósforo de Galio (P Ga) emite luz verde con una longitud de onda de 565nm. Existiendo mucho más compuestos que emiten radiaciones de distinta frecuencia, ofreciendo distintos colores, o distintos tonos dentro de un mismo color. La representación del LED se muestra en la figura 2.5.

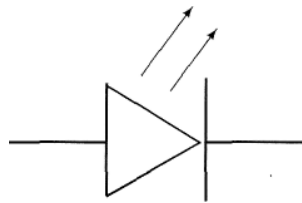


Figura 2.5 Símbolo del LED.

Combinaciones de diodos sirven para representar datos como indicadores numéricos o alfa-numéricos. Las formas más habituales de dichos indicadores son las siguientes:

- Display de 7 segmentos.

La distribución de los segmentos está normalizada, así como el nombre que recibe cada uno de ellos (a,b,c,d,e,f,g); pudiendo presentar un punto llamado punto decimal, empleado cuando se han de presentar cifras decimales.

Cada segmento es un LED en forma de barra y poralizando convenientemente

un número adecuado de ellos se pueden representar los dígitos del 0 al 9 y letras mayúsculas o minúsculas. Su diseño se muestra en la figura 2.6.

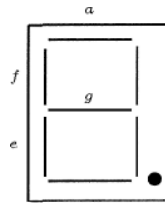


Figura 2.6 Display de 7 Segmentos.

- Matrices de LED's o displays alfa-numéricos:

Su constitución es similar a la de los displays de 7 segmentos, pero presenta una matriz que puede variar su número de elementos: 3x5, 4 x 6 o 7 x 5 ; siendo mucho más utilizada esta última porque presenta la ventaja de disponer de 35 elementos y así poder representar con resolución muy aceptable, caracteres alfabéticos, numéricos, de puntuación y especiales.

2.2.1 Funcionamiento del LED

Al tener una unión *PN* polarizada directamente, sucede un fenómeno de conducción en el cual se inyectan portadores a través de la zona de vaciamiento hacia la región opuesta y al llegar a ésta se recombinan, tal como se muestra en la figura 2.7.

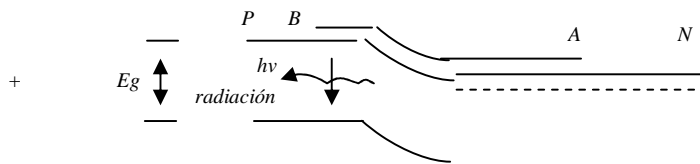


Figura 2.7 Unión *PN* Polarizada Directamente

Un electrón (portador mayoritario) del lado TV (punto A) se mueve hacia el lado P por la polarización aplicada. Al difundirse en el semiconductor P es fácil que se recombine, debido a que en este lado pasa a ser un portador minoritario. Al suceder la recombinación se tiene una emisión espontánea de radiación de valor.

$$h\nu = E_k \quad (2.2.2)$$

Si se diseña el semiconductor empleado de manera que la longitud de onda de la radiación emitida caiga en el espectro visible, la radiación se podrá ver. Asimismo se requiere que en este caso el semiconductor P se encuentre muy cercano a la superficie para que la radiación pueda salir fuera del dispositivo.

Así, si se analizan las características que dan los fabricantes, se puede concluir que al aumentar la corriente en el dispositivo aumenta la intensidad luminosa de radiación, siguiendo una ley casi lineal, es decir:

$$H = I_0 + kI_F \quad (2.2.3)$$

donde:

k es una constante de proporcionalidad; I_0 es la corriente inicial; H es la intensidad luminosa relativa; I_F es la corriente en sentido directo que pasa por el dispositivo.

Estos dispositivos se ven seriamente afectados por la temperatura, es decir, que al aumentar ésta la intensidad luminosa de salida disminuye.

La eficiencia de un LED a temperatura de $25^\circ C$ es del orden del 10 por ciento, por lo que es necesario llevar los dispositivos a temperaturas muy bajas para que la eficiencia aumente y entonces prácticamente toda la energía eléctrica se convierta en energía luminosa.

2.2.2 Aplicaciones de LED's

Estos diodos constituyen la primera lámpara de estado sólido de que se tiene noticia y presentan características muy interesantes, para que en el futuro se pueda ahorrar energía eléctrica en la producción de energía luminosa.

Por lo que su principal utilidad está en lámparas incandescentes y de gas, debido a su mayor vida útil, más rápida velocidad encendido-apagado y menor voltaje de trabajo.

Capítulo 3

Convertidores, Comparadores y Buses.

3.1 Comparador de Magnitudes

La comparación de dos números es una operación que determina si un número es mayor que, menor que o igual a otro número. Un *comparador de magnitud* es un circuito combinacional que compara dos números, A y B y determina sus magnitudes relativas. El resultado de la comparación se especifica por medio de tres variables binarias que indican cuando $A > B$, $A = B$ ó $A < B$.

El circuito para comparar dos números de n bits tiene 2^{2n} entradas en la tabla de verdad y se vuelve muy complicado aún para $n = 3$. Por otra parte, como es de sospechar, un circuito comparador tiene cierta cantidad de regularidad. Las funciones digitales que poseen una regularidad inherente bien definida pueden diseñarse por medio de un procedimiento algorítmico si se encuentra su existencia. Un *algoritmo* es un procedimiento que especifica un conjunto finito de pasos, los cuales dan una solución al problema si se siguen. Se ilustrará este método deduciendo un algoritmo para el diseño de un comparador de magnitud de 4 bits.

El algoritmo es una aplicación directa de un procedimiento que usa una persona para comparar las magnitudes relativas de dos números. Concientes de los números

en orden significativo descendente de la siguiente manera:

$$A = A_3A_2A_1A_0$$

$$B = B_3B_2B_1B_0$$

donde cada suscrito de letra representa uno de los dígitos del número. Los dos números son iguales si todos los pares de números significativos son iguales, es decir si $A_3 = B_3$ y $A_2 = B_2$ y $A_1 = B_1$ y $A_0 = B_0$. Cuando los números son binarios los dígitos son 1 ó 0 y la relación de igualdad para cada par de bits puede expresarse lógicamente con una función de equivalencia:

$$x_i = A_iB_i + A_i'B_i' \quad i = 0, 1, 2, 3$$

donde $x_i = 1$ solamente si el par de bits en la posición i son iguales es decir si ambos son unos o ceros.

La igualdad de dos números A y B se indica en un circuito combinacional por medio de una variable binaria de salida que se designa con el símbolo $(A = B)$. Esta variable binaria es igual a 1 si los números de entrada ó A y B son iguales; de lo contrario será igual a 0. Para que exista esta condición de igualdad, todas las variables x_i deben ser iguales a 1. Esto produce una operación AND de todas las variables:

$$(A = B) = X_3x_2x_1x_0$$

la variable binaria $(A = B)$ es igual a 1 si todos los pares de dígitos de los dos números son iguales.

Para determinar si A es mayor o menor que B se inspeccionan las magnitudes relativas de los pares de dígitos significativos comenzando desde la posición significativa más alta. Si los dígitos son iguales, se compara el siguiente par de dígitos siguientes menos significativos. Esta comparación continúa hasta que se encuentre un par de dígitos desiguales. Si el correspondiente dígito de A es 1 y el de B es 0, se concluye que $A > B$. Si el correspondiente dígito de A es 0 y el de B es 1 se tiene que $A < B$.

La comparación secuencial puede expresarse lógicamente por las dos siguientes funciones de Boole:

$$(A > B) = A_3B'_3 + x_3A_2b'_2 + x_3x_2A_1B'_1 + x_3x_2x_1A_0B'_0$$

$$(A < B) = A_3B_3 + x_3A'_2B_2 + x_3x_2A'_1B_1 + x_3x_2x_1A'_0B_0$$

los símbolos $(A > B)$ y $(A < B)$ son variables de salida binarias que son iguales a 1 cuando $A > B$ ó $A < B$ respectivamente.

La ejecución con compuertas de las tres variables de salida derivadas es más simple de lo que parece ya que tiene cierta cantidad de repetición. Las salidas "desiguales" pueden usar las mismas compuertas que se necesitan para generar una salida "igual".

En el diagrama lógico del comparador de magnitud de 4 bits las cuatro x de salida se generan con circuitos de equivalencia (ÑOR - exclusiva) y se aplican a una compuerta AND para dar la variable binaria de salida $(A = B)$. Las dos salidas usan las variables x para generar las funciones $(A < B)$ y $(A > B)$. Esta es una configuración de multinivel y como se puede ver tiene un patrón regular. El procedimiento para obtener circuitos comparadores de magnitud para números binarios de más de cuatro bits debe ser obvio para este ejemplo. El mismo circuito puede usarse para comparar las magnitudes relativas de dos dígitos BDC.

3.2 Convertidores D/A y A/D

3.2.1 Señales Digitales y Analógicas

Los sistemas de instrumentación se pueden clasificar en dos categorías principales:

- a) Sistemas Analógicos
- b) Sistemas Digitales

Los Sistemas analógicos tiene que ver con la información de las mediciones en forma analógica. Una **señal analógica** se puede definir como una función continua, tal como un trazo de voltaje contra tiempo o desplazamiento contra presión.

Los Sistema Digitales manejan información digital. Una *cantidad digital* puede consistir de un número de pulsos discretos y discontinuos cuya relación de tiempo contiene información acerca de la naturaleza de la cantidad. En especial se tiene el caso de las cantidades digitales manejadas por la computadora como lo son los dígitos binarios.

En la actualidad suele ser más ventajoso manejar datos digitales, ya que de esta manera se pueden usar las computadoras, las cuales nos permiten implementar funciones de control y procesar información a través de métodos digitales. Sin embargo los datos del mundo real están generalmente en forma analógica, de tal forma que nos es preciso implementar Sistema de conversión que nos permitan convertir información analógica a digital y viceversa.

La figura 3.f muestra un esquema general de un sistema de conversión Analógico-Digital:

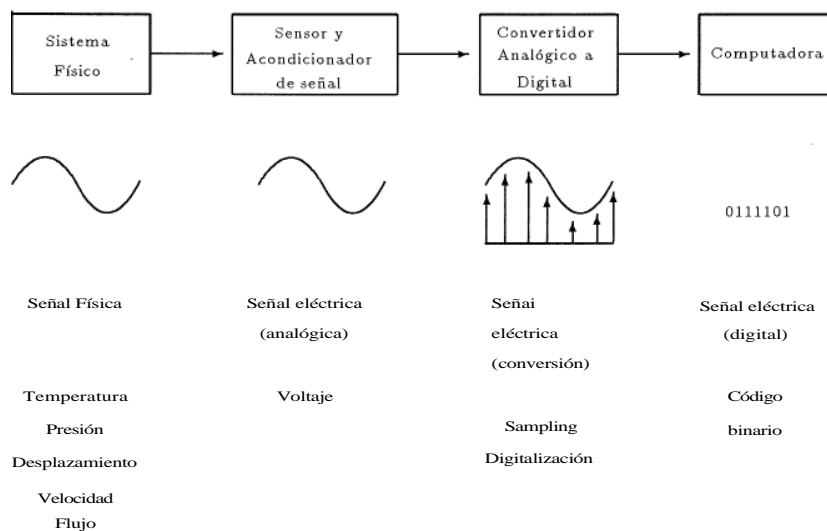


Figura 3.1 Esquema general de un sistema de Conversión Analógico-Digital.

La figura 3.2 muestra un esquema general de un sistema de conversión Digital-Analógico.

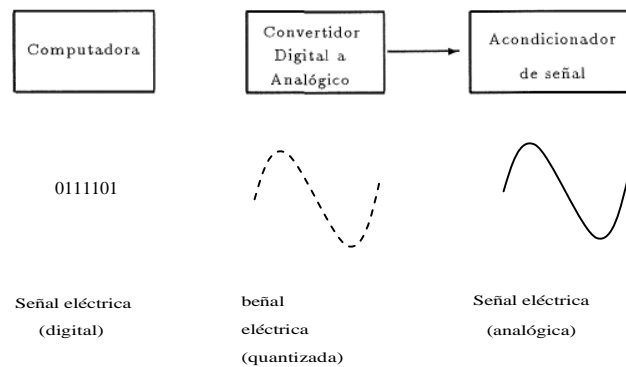


Figura 3.2 Esquema general de un sistema de Conversión Digital-Analógico.

3.2.2 Convertidores Digital - Analógico

Hay un gran número de dispositivos físicos que generan señales de salida analógicas o continuas. Los ejemplos incluyen transductores de temperatura, presión y flujo. En la tecnología los procesamientos de señal se realizan a menudo utilizando métodos digitales, y luego la señal procesada es vuelta a convertir a la forma analógica. Se han ideado muchos tipos diferentes de convertidores de datos que son los acoplamientos o interfaces entre dispositivos analógicos y sistemas digitales. Se les utiliza amplia variedad de aplicaciones, incluyendo el control automático de procesos, las mediciones y pruebas, telemetría de datos y sistemas de comunicación de sonido y vídeo. Aquí se considerarán los convertidores digital-analógicos (D/A) que producen una salida analógica partiendo de una entrada digital dada.

El Convertidor D/A con Resistor Ponderado

En la figura 3.3 tenemos una red pasiva de resistencias que convierte una palabra digital de 4 bits en paralelo A_3, A_2, A_1, A_0 a una tensión analógica que es proporcional al número binario representado por la palabra digital. Si ésta está en forma serie, se puede utilizar un registro de desplazamiento para convertirla a la forma paralelo. Para la explicación sólo se utiliza una palabra de 4 bits; la ampliación a más de 4 bits se efectúa fácilmente.

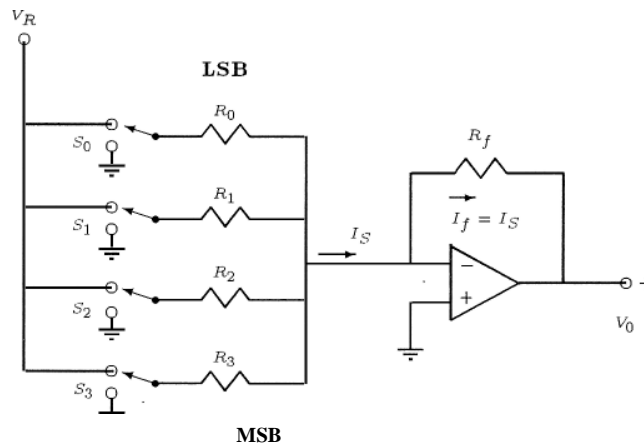


Figura 3.3 Convertidor de Resistor Ponderado con Operacional

Las tensiones lógicas que representan los bits individuales A_3, A_2, A_1 y A_0 no se aplican directamente al convertidor sino que se utilizan para activar interruptores electrónicos S_3, S_2, S_1 y S_0 , respectivamente. Cuando cualquiera de las A son 1, el interruptor correspondiente es conectado a una tensión de referencia V_R ; cuando una A es 0, el interruptor es conectado a masa. En la red de resistores ponderados, el valor o peso de uno de ellos es igual al anterior dividido por 2, por lo que los valores individuales de los resistores inversamente proporcionales a la significación numérica del dígito binario respectivo.

Así en este convertidor de 4 bits tenemos

$$LSB : R_0 = R/2^0 = R$$

$$R_1 = R/2^1 = R/2$$

$$R_2 = R/2^2 = R/4$$

$$MSB : R_3 = R/2^3 = R/8$$

donde R es una resistencia arbitraria que puede ser elegida para que corresponda al nivel de impedancia de la red.

Para hallar la relación entre la tensión de salida analógica V_0 en la salida del operacional y la entrada digital, observamos que en la entrada del operacional hay un cortocircuito virtual. Por tanto, la corriente I es

$$I_8 = V_R \left[A_3 / R_3 + A_2 / R_2 + A_1 / R_1 + A_0 / R_0 \right]$$

Cuando se emplea (3.2. 5), ésta se convierte en

$$I_8 = V_R / R \left[2^3 / A_3 + 2^2 / A_2 + 2^1 / A_1 + 2^0 / A_0 \right]$$

donde $A_i = 1$ si S_i está conectado a V_{AR} y $A_i = 0$ si S_i está conectado a masa. La ecuación (3.2.6) muestra claramente que el valor numérico de la corriente de corto circuito es directamente proporcional al número binario A_3, A_2, A_1 y A_0 . Por ejemplo, si la entrada es $A_3 A_2 A_1 A_0 = 1111$, $I_8 = 15V_R / R$, mientras si $A_3 A_2 A_1 A_0 = 0110$, $I_8 = 6V_R / R$, etc. La tensión de salida V_0 es

$$V_0 = - I_f R_f = - I_8 R_f = - R_f V_R / R (2^3 A_3 + 2^2 A_2 + 2^1 A_1 + 2^0 A_0) \quad (3.2.7)$$

Así la tensión de salida es directamente proporcional al valor numérico de la entrada binaria.

En este punto son pertinentes algunos comentarios acerca de este circuito. El primero concierne a la exactitud y la estabilidad, las cuales dependen de las relaciones de resistencia entre las potencias de 2 y su aptitud para que se mantengan cuando cambia la temperatura. Como todos los resistores tienen valores diferentes, es difícil obtener idénticas características de seguimiento. Además, como los sucesivos resistores se diferencian por ser cada uno igual al anterior dividido por 2, la *razón* del resistor mayor al resistor menor es 2^{n-1} , donde n es el número de bits de la palabra digital. Así en un convertidor de 10 bits en que R_0 tenga que ser $1k\Omega$, el resistor *LSB* R_9 debe ser $2^{10} \times 1k\Omega = 1024k\Omega$. Si el valor real de R_9 difiere del valor teórico del resistor de $1024k\Omega$, es decir, una precisión de aproximadamente 0,1%, la tensión de error será tan grande como la tensión producida por el último bit significativo A_0 . En este caso el convertidor *D/A* será capaz de convertir con precisión únicamente 9 bits en lugar de 10. A causa de esta dificultad, el circuito se utiliza principalmente en aplicaciones de baja resolución.

El circuito representado en la figura 3.3 proveerá tensiones de salida que son negativas, ya que la salida va de $V_0 = 0$ cuando $A_3A_2A_1A_0 = 0000$ a $V_0 = -15 R_f V_R / R$ cuando $A_3A_2A_1A_0 = 1111$. A este margen se le puede dar el valor deseado suprimiendo las conexiones a masa de los terminales inferiores del interruptor y conectándolos a una tensión negativa apropiada.

Resolución y precisión.

Una importante especificación de un convertidor *D/A* es la *resolución* de que es capaz. La resolución se define como el menor incremento de tensión que puede ser discernido por el circuito y depende principalmente del número de bits de la palabra digital.

Otra especificación de los convertidores *D/A* es la *precisión de conversión*, que depende de la diferencia entre la tensión real de salida analógica y la salida teórica.

Esta es una función de la exactitud de los resistores de precisión utilizados en la red en escalera y la precisión es la fuente de tensión de referencia. En la práctica un convertidor debe tener una precisión mayor de $\pm 1/2 \text{ LSB}$ para que la precisión y la resolución sean compatibles.

3.2.3 Convertidores Analógico-Digital

En muchas aplicaciones es necesario convertir una señal analógica en una forma digital adecuada para su proceso por un sistema digital. Se dispone de varios métodos para este tipo de conversión.

En todos los convertidores A/D es inherente un error de cuantificación. Para explicar esto consideremos el diagrama de bloques y gráfico de la figura 3.4. El diagrama de la figura 3.4a muestra un convertidor A/D de 4 bits que tiene una resolución de $(1 \text{ cuenta})/(100 \text{ mV})$. La figura 3.4b muestra la entrada analógica y la salida digital que resulta para los diferentes márgenes o alcances de la entrada. Vemos, por ejemplo, que todas las tensiones analógicas comprendidas entre 50 y 150 mV produce la misma salida digital, 0001; entre 150 y 250 mV la salida es 0010, etc. Así tenemos una cuenta en la salida por cada 100 mV en la entrada. Ahora, si la salida digital es 0011 y es también la entrada a un convertidor D/A , la salida del convertidor es asignada al valor analógico de 300 mV. Sin embargo, sabemos que la tensión analógica original de entrada estaba comprendida entre 250 y 350 mV. Así pues, en este caso el error de cuantificación puede ser especificado como $\pm 50 \text{ mV}$, que es $\pm 1/2 \text{ LSB}$. Este es un resultado ideal. En la práctica el error podría ser algo mayor que $\pm 1/2 \text{ LSB}$ a causa de las inexactitudes inherentes de las tensiones de referencia, etc.

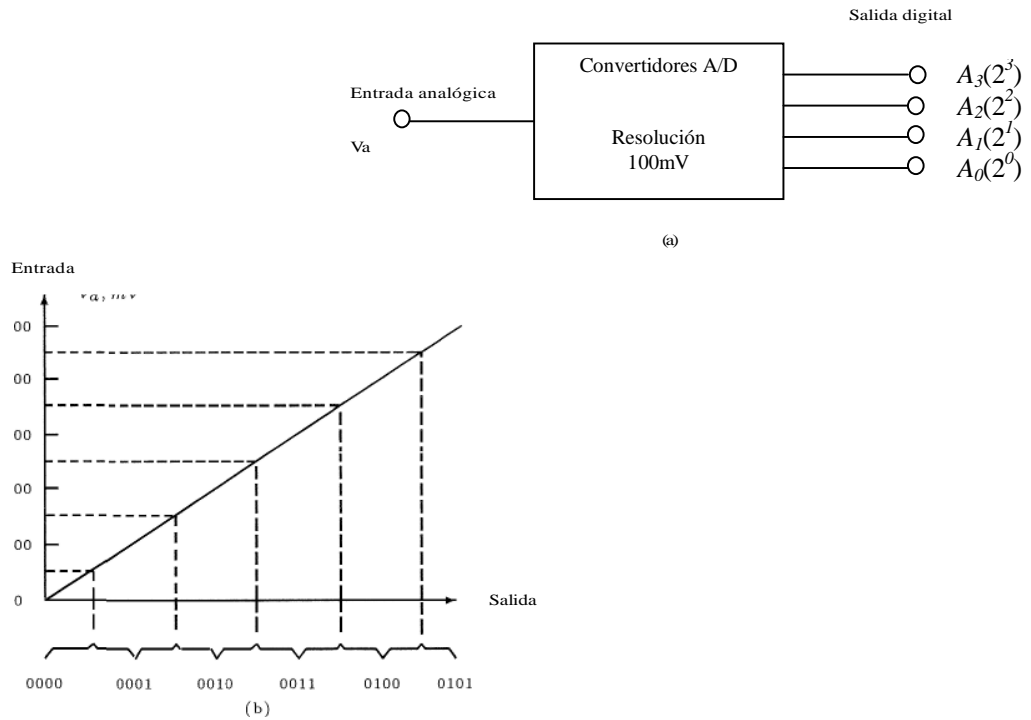


Figura 3.4 Convertidores A/D. (a) Símbolo; (b) Error de Cuantificación.

Comparadores Analógicos

Todas las técnicas empleadas para convertir tensiones analógicas en secuencias digitales requieren el uso de un comparador analógico. En la figura 3.5 (parte superior), está representado el símbolo lógico de un comparador analógico. Las entradas son dos tensiones analógicas V_a y V_b , la salida es una tensión binaria. El circuito compara las dos entradas, por lo que si $V_a > V_b$, la salida es una señal de nivel alto (1 lógico). Por otra parte, si $V_a < V_b$, la salida es una señal de nivel bajo (0 lógico). Así

$$V_o = \text{sgn}(V_a - V_b) = \begin{cases} 1 & V_a > V_b \\ 0 & V_a < V_b \end{cases} \quad (3.2.8)$$

La figura 3.5 (parte inferior), muestra un comparador analógico que se compone de un operacional, el cual a su vez comprende dos amplificadores diferenciales en cascada seguidos de una compuerta lógica. Si las tensiones de salida del comparador están destinadas a la tecnología *TTL*, la puerta lógica suele ser una *NO — Y TTL*, conectada como inversor; si se desean niveles de salida *ECL*, se utiliza una puerta *NO ~ O ECL*.

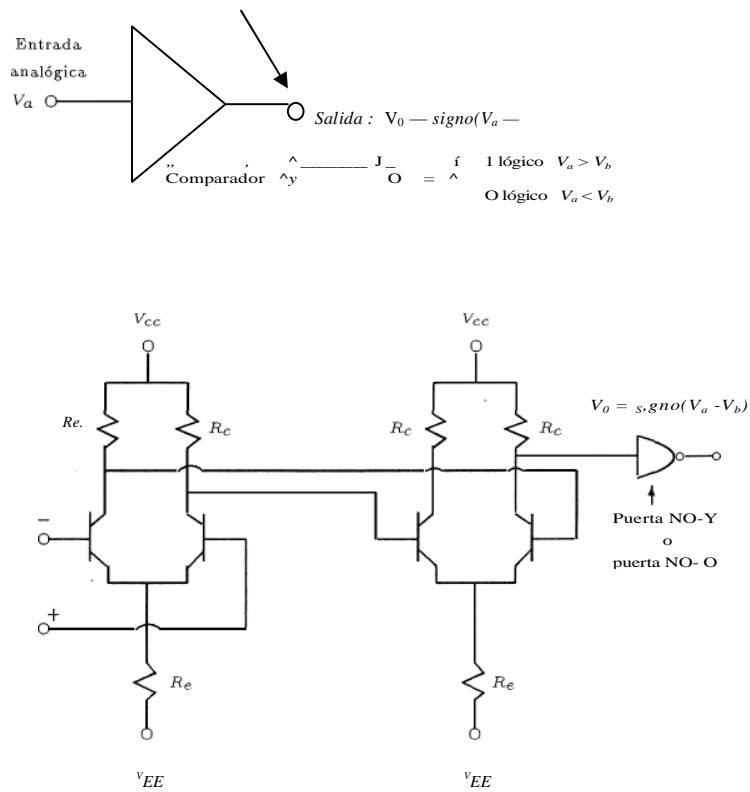


Figura 3.5 Comparador analógico.

Convertidor A/D Controlado por Contador

Uno de los métodos más sencillos de conversión *A/D* es el representado en la figura 3.6. Utiliza tres elementos principales: un contador, un convertidor *D/A* y un comparador

analógico. Por simplicidad la mayoría de los circuitos lógicos de control se han omitido en el diagrama.

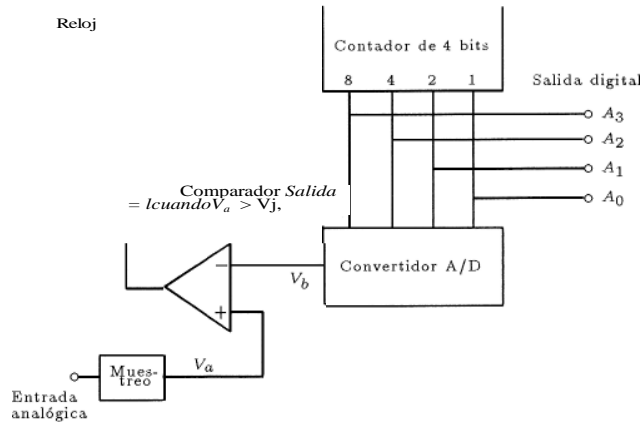


Figura 3.6 Convertidor A/D controlado por contador.

El convertidor opera como sigue. En el comienzo de un ciclo el contador está puesto a cero (reset). Este produce una tensión de salida D/A $V_i = 0$ que es aplicada a una entrada del comparador. La entrada analógica es alimentada a través de un circuito de muestreo y mantenimiento cuya salida V_a es aplicada a la otra entrada del comparador. En tanto que la señal analógica V_a sea mayor que V_i , la salida del comparador será 1 y la puerta Y estará habilitada, permitiendo que entren en el contador los impulsos de reloj. El contador contará entonces hacia arriba o en sentido ascendente partiendo de cero. Con cada cuenta la salida D/A V_i aumentará un paso o escalón, como muestra la figura 3.7. Esta cuenta continuará hasta que la forma de onda en escalera exceda del valor de la señal analógica V_a . En este instante se anulará la salida del comparador, inhibiendo la puerta Y y por consiguiente parando al contador. La salida es entonces leída en los terminales de salida del contador. En la figura 3.7 será 0101, correspondiente a 5V.

Este tipo de contador es relativamente lento, ya que pueden ser necesarios para la conversión muchos periodos de reloj, tantos como $2^N - 1$ (15 para un convertidor

de 4 bits). El convertidor que describiremos en la sección siguiente es muchos más rápido. Se puede reducir el tiempo de conversión si se utiliza un contador reversible y se modifica el convertidor para que cuente en sentidos ascendente cuando $V_b < V_a$ y cuente en sentido descendente cuando $V_b > V_a$. En este caso el comparador activa el control del contador.

En la realización del circuito real de este convertidor se necesita una lógica adicional para controlar el tiempo de mantenimiento del circuito de muestreo y mantenimiento y proveer la sincronización de las señales de reloj, reset y mantenimiento.

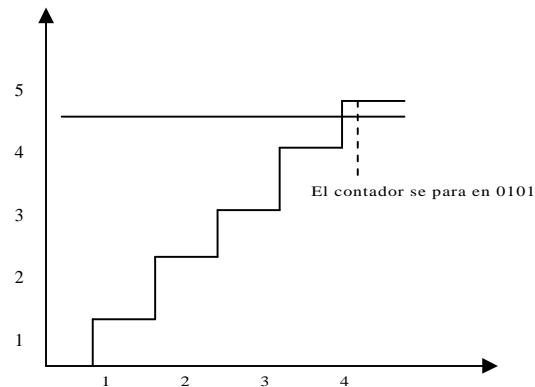


Figura 3.7 Formas de onda en el convertidor A/D controlado por contador.

Convertidor D/A por Aproximaciones Sucesivas

En el convertidor controlado por contador, la señal analógica es comparada primero con 0V, luego con 1V, 2V, etc., hasta que se halla la tensión desconocida. Este es un proceso lento, pero se puede acelerar considerablemente efectuando las comparaciones de la manera siguiente. Supongamos que deseamos hallar un valor entero de una tensión de la cual sabemos que está comprendida entre 0 y 16V. Comenzamos haciendo al comparador la pregunta: Es 8V o mayor la tensión desconocida? Si la

contestación es afirmativa, sabemos que la tensión desconocida está entre 8 y 16V. Si no lo es, está entre 0 y 5V. Supongamos que la respuesta es sí. A continuación comparamos la tensión desconocida con 12V y hacemos al comparador la pregunta: Es mayor que 12V la tensión desconocida? Si lo es, la tensión desconocida está entre 12 y 16V; si no lo es, está entre 8 y 12V. Continuamos acortando el intervalo de esta manera y llegamos rápidamente a la solución correcta. Podemos tener una idea del número de casos necesarios suponiendo que la tensión desconocida es $V_a = 10V$. La respuesta digital es 1010, que es la notación binaria de 10 y así habremos llegado a la solución en cuatro comparaciones solamente. Se demuestra fácilmente que en general una conversión de N bits requerirá N comparaciones. Este número es considerablemente menor que el 2^N requerido por el convertidor controlado por contador.

Tabla 1.1 Pasos de aproximaciones sucesivas cuando $V_a = 10V$

<i>Paso</i>	<i>Comparación</i>	<i>Respuesta</i>	<i>Respuesta digital (si=1, no=0)</i>
1	Va 8?	Sí	1 MSB
2	Va 12?	No	0
3	Va 10?	Sí	1
4	Va 11?	No	0 LSB

La figura 3.8 es el diagrama de bloques simplificado de un convertidor D/A de 4 bits por aproximaciones sucesivas. El convertidor trabaja reduciendo sucesivamente a la mitad el margen de tensión en que el comparador ha situado a la tensión analógica que se está convirtiendo. Sus componentes principales son el registro de 4 bits, que tiene capacidad de set y reset independientes para cada paso, el convertidor D/A de 4 bits y el comparador analógico. Para sincronizar la operación con el reloj de el se requieren el contador en anillo y la lógica de control. El contador en anillo provee las formas de onda de temporización para controlar la operación del convertidor.

Por simplicidad asumimos una entrada unipolar de 0 a $15V^7$, siendo la salida el equivalente binario de la tensión de entrada. También suponemos que está temporizado el ciclo de mantenimiento del circuito de muestreo y mantenimiento por lo que V_a es constante de conversión.

Tabla 1.2. Aproximaciones sucesivas cuando $V_a = 10V$

Paso	V_b	Comparación	Respuesta	$A_3A_2A_1A_0$
1	8	$V_a \geq 8?$	Sí	1000
2	12	$V_a \geq 12?$	No	1100
3	10	$V_a \geq 10?$	Sí	1010
4	11	$V_a \geq 11?$	No	1011
	10	Salida leída		1010

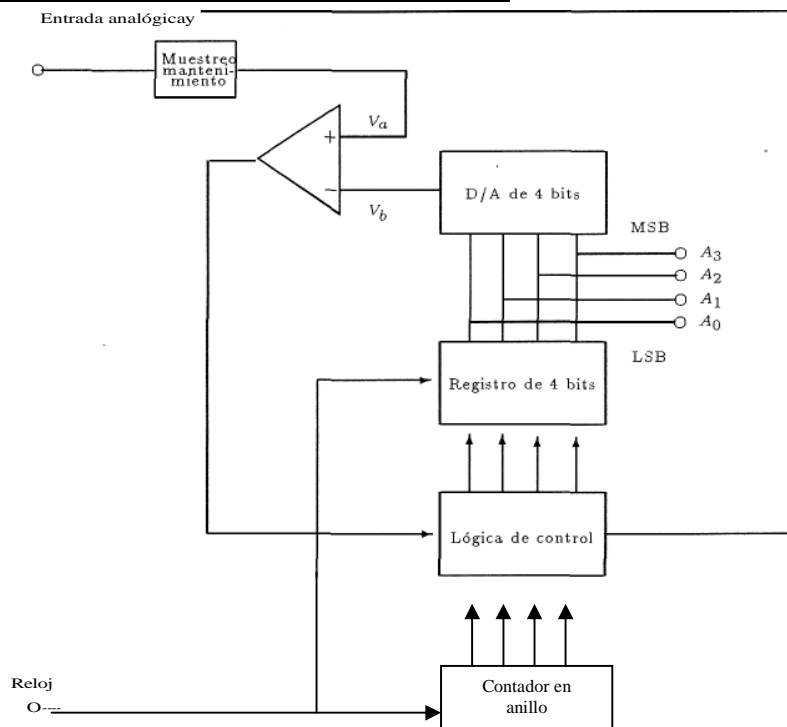


Figura 3.8 Convertidor A/D de aproximaciones sucesivas.

Los pasos del ciclo de conversión son, pues, los siguientes, y cada paso ocupa un periodo de reloj:

1. La unidad *D/A*, el registro de 4 bits y el contador en anillo son todos puestos a 0 (reset) por el primer impulso del contador en anillo, por lo que en el convertidor *D/A* el bit *MSB* es $A_3 = 1$ y todos los demás son 0. Así la salida V_b del *D/A* es 8V. Esta es comparada con V_a y si $V_a > V_b$ ($V_a > 8$), el flip-flop *MSB* que hay en el registro se queda en 1; de otra manera es repuesto a 0.
2. El segundo impulso del contador en anillo hace que sea $A_2 = 1$, permaneciendo A_1 y A_0 en 0, y siendo A_3 0 o 1, según sea el resultado del escalón 1. Si $A_3 = 1$, entonces $V_b = 12V$; si $A_3 = 0$, entonces $V_b = 4V$. Supongamos $V_b = 12V$. Esta es comparada con V_a y si $V_a \geq 12V$, entonces se queda en 1 el flip-flop A_2 del registro. De otra manera se repone a 0.
3. Lo mismo que el paso 2, pero el flip-flop A_1 es repuesto a 0 o se queda en 1; los flip-flops A_2 y A_3 retienen sus estados del paso 2.
4. Lo mismo que el paso 3, pero ahora se utiliza el flip-flop A_0 , y los A_1 , A_2 y A_3 retienen sus estados del paso 4. Ahora aparece el número deseado en el contador y se lee. La tabla 1.2 ilustra el proceso para $V_a = 10V$.

Se ve que la conversión real se hace en cuatro periodos de reloj. Así, por ejemplo, un convertidor de 10 bits con un reloj de $WMHz$ tendrá un tiempo de conversión de aproximadamente $10 \times 10^{-7} = 1\mu s$.

Especificaciones de los Fabricantes

A continuación se da una lista de algunas de las especificaciones de los fabricantes.

1. *Señal de entrada*. Esta es el máximo margen de tensión de entrada analógica permisible y puede ser unipolar, es decir, 0 a 10V, o bipolar, es decir ± 5 y $\pm 10V$, etc.

2. *Tiempo de conversión.* Depende del tipo de convertidor. Los convertidores ultrarrápidos en paralelo tienen tiempo de conversión comprendidos en el margen de 10 a 60n,s; los convertidores de aproximación sucesivas varían de 1 a 100µs
3. *Formato de salida.* Se dispone de una diversidad de formatos, incluyendo el binario unipolar, binario offset, complemento a 1 y complemento a 2, y varios códigos estándar. Los circuitos de salida suelen ser diseñados para acoplarlos directamente a *TTL*, *ECL* o *CMOS*.
4. *Precisión.* La precisión incluye errores provenientes de ambas partes analógica y digital del sistema. El error digital es debido a la cuantificación y el error de cuantificación resultante es usualmente $\pm 1/2$ *LSB*. La principal fuente de error analógico es el comparador. Otras fuentes son la tensión de alimentación, los resistores en escalera, etc. La precisión necesaria y el número de bits deben ser compatibles. Por ejemplo, consideremos un convertidor de 10 bits con un margen de entrada analógica de 0 a +10V. El error de cuantificación es $(1/2^{10}) \times 10V \approx 10mV$. Si suponemos que el error analógico es aproximadamente igual a $10mV$, el error total es $20mV$ referido a la entrada. En este caso el sistema opera como un convertidor *A/D* de 9 bits que está exento de error analógico, ya que un convertidor de 9 bits tiene un error de cuantificación de $1/2^9 \times 10V \approx 20mV$.

3.3 Buses

Un *bus* es un grupo de líneas por los cuales se envía o se recibe información, es decir, es un canal de comunicación. En las computadoras personales de IBM, el bus está formado por una serie de líneas de conducción que transmiten bits en forma paralela.

En una computadora existen tres buses diferentes los cuales son identificados por el tipo de información que llevan, estos son: el bus de datos, el bus de control y el bus de direcciones.

Bus de Datos. Porta información a y desde el microprocesador, como por

ejemplo los códigos de operación de las instrucciones, los datos de los dispositivos de entrada y salida, así como los datos para memoria. Este bus es bidireccional.

Bus de Direcciones. Es unidireccional, y lleva direcciones generadas por el microprocesador a la memoria y a los dispositivos I/O de la computadora.

Bus de Control. Este bus se utiliza para controlar la secuencia y naturaleza de la operación que empieza a ser ejecutada. El bus de control indica en particular el tipo de operación que se ejecutará, como son:

- Lectura de memoria al procesador.
- Escritura a memoria desde el procesador.
- Lectura desde un dispositivo de entrada al procesador.
- Escritura a un dispositivo de salida desde el procesador.

El bus de control también maneja interrupciones, acceso directo a memoria y otras funciones de control para implementar la gestión y sincronización de eventos.

3.3.1 Diferentes Arquitecturas de Buses.

En el transcurso del desarrollo de los sistemas con microprocesadores se han presentado diferentes buses que de alguna manera han permitido la conexión de interfaces o dispositivos de entrada o salida.

Entre las diferentes arquitecturas de buses tenemos:

- Bus ISA.
- Bus EISA.
- Bus Micro Canal.
- Bus Local Vesa.
- Bus S-100.

El BUS S — 100 se describirá en la siguiente sección.

Bus ISA.

Es la original del primer IBM PC y de los ordenadores de tipo XT y AT. Esta arquitectura incluye líneas en el bus para el control del microprocesador y DMA (Acceso Directo a Memoria).

La única diferencia entre el bus de los XT y los AT es que se añadieron más líneas para poder trabajar con el bus de datos de 16 bits y el de direcciones de 24 bits (aunque sólo eran necesarias 20).

Los ordenadores de arquitectura ISA son compatibles con todo tipo de tarjetas de expansión, ya que es una arquitectura pensada especialmente para mantener la compatibilidad con los modelos anteriores. Las tarjetas ISA de 8 bits pueden conectarse en cualquier modelo de XT, AT, 386 ó 486 siempre que sea ISA, y las de 16 bits en cualquier modelo AT o superiores.

Bus EISA.

Amplia y mejora el funcionamiento del bus de 32 bits, como hace el MCA de IBM, pero mantiene la compatibilidad con la arquitectura ISA de los PC, XT y AT.

Muchas de las funciones de EISA son parecidas al Micro Canal de IBM, al menos en la configuración básica y arbitraje del bus.

Bus Micro Canal (MCA).

Los conectores del bus de expansión son más pequeños, por lo que las tarjetas tienen un tamaño más reducido y por un conector especial y más tomas de tierra causa menos interferencia. La instalación de las tarjetas se realiza completamente por programación (software). El bus MCA no tiene límite específico de velocidad a diferencia del bus ISA.

Bus Local VESA.

Para la memoria se utiliza una ranura especial de alta velocidad para la tarjeta madre que y únicamente aloja una tarjeta en particular típicamente de memoria. Esta ranura se le llama bus local. Aunque se habla de bus local como un nuevo estándar, no lo es. Algunos fabricantes promueven un estándar para bus local llamado "VESA" Video Electronic Standards Association (Asociación Estándar de Video Electrónico). Las ranuras de bus local actualmente dan soporte a tres tipos de tarjetas: tarjetas de memoria, de video y controladoras de disco.

3.3.2 Bus S -100

La primera computadora la ALTAIR, tenía el bus S-100 o *ALT AIR*, la APPLE II utilizaba otro diferente. La IBM PC introdujo un bus de 62 líneas (bus actual de la PC). Las 62 líneas se presentan al exterior a través de un conector estándar (ranuras de expansión), a estas ranuras se les conectan las tarjetas de expansión.

Este bus es de 8 bits de ancho, así que las transferencias de datos solo se hacen cada 8 bits en el bus. Las ranuras de expansión con un bus así, se llaman ranuras de 8 bits.

El *bus* del sistema de la Computadora Personal de IBM es una extensión del bus del Micro computador 8088 de INTEL. Ello es, sin embargo, demultiplexado y mejorado por señales adicionales para soportar *Acceso Directo a Memoria (DMA)*, interrupciones y otras características. Todas las señales son niveles lógicos (TTL) transistor-transistor, y hay terminales conectadas a voltaje y tierra. En la figura 3.9 se muestra el diseño del bus del sistema con los nombres de las 62 terminales, y a continuación se describen.

- AO a A19. Estas 20 terminales permiten direccionar memoria y puertos de I/O. AO es el *bit menos significativo (LSB)* y A19 es el *bit más significativo (MSB)*, estas líneas son manejadas tanto por el procesador 8088 de Intel como el controlador del DMA.
- DO a D7. Estas 8 terminales son un bus de datos bidireccional. -DO es el *LSB* y DI es el *MSB*. Durante la inicialización del ciclo de ESCRITURA del 8088, el procesador 8088 envía datos al bus de datos antes del nivel alto (pulso de reloj) de la señal de *escritura para puertos de I/O (IOW)* o *escritura a memoria (MEMW)*, los datos al pulso de reloj se ponen en el puerto de salida o a memoria. Durante el ciclo de LECTURA del bus del 8088, el puerto de entrada o la memoria debe poner los datos en el bus de datos antes de la transición positiva (pulso de reloj) de la señal de *lectura para puertos de I/O (IOR)* o la señal de *lectura a memoria (MEMR)*, los cuales son atrapados y enviados al microprocesador 8088 de Intel.
- **MEMR, MEMW, IOR, IOW.** Estas señales activas en bajo controlan las operaciones de lectura y escritura mencionadas anteriormente. Ellas pueden ser generadas por el procesador 8088 o el controlador del DMA.

- **ALE (Habilitación del atrapado de dirección).** Para el sistema del bus de la Computadora Personal, el ALE indica el inicio de un ciclo de bus del 8088 de Intel. Cuando esta señal es cierta, el sistema del bus de datos no contiene información de direcciones. Dado que, señales diferentes con el mismo nombre en el microprocesador 8085 de Intel, la función del ALE no es la demultiplexación de las direcciones desde el bus de datos.
- **AEN (Habilitación de direcciones).** Esta señal es generada por el controlador del DMA para indicar que un ciclo del DMA está en progreso. Estas son normalmente usadas como direcciones de los puerto de I/O. Esta situación puede ocurrir puesto que las señales IOR o IOW pueden ser activadas durante un ciclo de DMA.
- **OSC (Oscilador), CLOCK.** El *OSC* es un sistema de reloj de alta-velocidad con un periodo de 70ns (14.31818Mhz) y un rendimiento del 50% del ciclo. El *CLOCK* es una tercera parte de la frecuencia del oscilador (4.77Mhz). Lo cual es la frecuencia de operación del microprocesador 8088 de Intel. Ello tiene un periodo de 210 ns y un ciclo de rendimiento del 33%.
- **IRQ2 a IRQ7 (Solicitud de Interrupción).** Los dispositivos de I/O usan estas 6 líneas de entrada para generar una solicitud de interrupción al procesador 8088. Están priorizados con IRQ2 con la mayor prioridad y IRQ7 como de menor prioridad. Una interrupción es generada por la transición de una línea IRQ y mantenida en "alto" hasta que ello es reconocido por el procesador. Dado que la señal de *Reconocimiento de Interrupción (INTA)* del microprocesador no está disponible en el bus del Sistema, el reconocimiento es generalmente realizado por un bit de un puerto de I/O usando un comando OUT que es emitido por la rutina de servicio de interrupción.
- **I/O CH RDY (Canal preparado para I/O).** Esta es una señal de entrada usada para generar un estado de espera, el cual extiende la longitud de los ciclo del bus del microprocesador para dispositivos lentos de memoria y de I/O.
- **I/O CH CK (Chequeo de canal de I/O).** Esta es una señal activa en bajo, usada para informar al procesador 8088 que hay un error de paridad en la memoria o en los dispositivos de I/O.
- **RESET DRV (Manejador de RESET).** Esta señal es usada para inicializar la

lógica del sistema dependiendo del power-up (puesta de la fuente. Conjunto de medidas tomadas por un ordenador cuando está bajo de tensión o cuando se reestablece la alimentación después de un corte de voltaje, o sea cuando la fuente falla y se vuelve a encender.) o en cualquier caso de una disminución de nivel de voltaje exterior power-supply (Alimentación. Unidad que convierte la tensión del sector en el voltaje necesario para los circuitos del sistema) en los rangos de operación después de encendido (power-on). Esta señal es sincronizada con la transición negativa del OSC.

- **DRQ1 a DRQ3 (Solicitudes del DMA).** Estas líneas de entrada son vías de petición asíncronas usadas por los dispositivos periféricos para conseguir un servicio del DMA, una línea DRQ debe estar en "alto" mientras la correspondiente línea DACK esté en "bajo". Note que DRQ0 no está disponible en el bus. Ello es usado para refrescar los sistemas de memoria dinámica.
- **DACK0 a DACK3 (señales de reconocimiento del DMA).** Estas líneas activas en bajo son usadas para reconocer las solicitudes del DMA y para refrescar la memoria dinámica (DACK0).
- **T/C (Contador terminal).** Esta línea proporciona un pulso cuando el contador terminal para el canal del DMA es alcanzado.

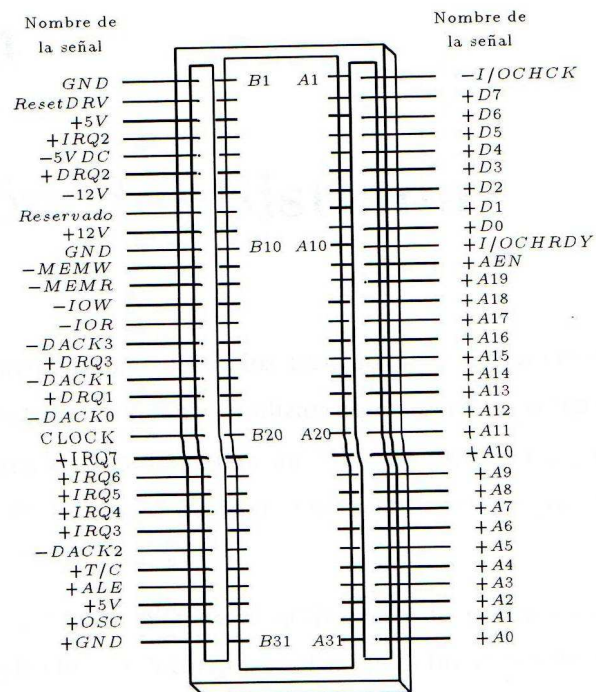


Figura 3.9 Terminales del Bus de la PC

Capítulo 4

Descripción del Sistema

Los sistemas de espectrometría son adecuados para identificar los colores visibles de una superficie. Estos instrumentos típicamente analizan una superficie de luz visible de 400-700 nanómetros (nm), compara las muestras con un color de referencia, y determina el mejor color igualado. El costo de la mayor parte de los instrumentos comerciales dependen del sistema óptico y su costo es de 1000 o más.

Una combinación de hardware/Software, activa uno de varios LEDs; cada uno emite una porción de espectro visible. Un fototransistor mide la luz reflejada por la superficie que esta siendo analizada y un convertidor analógico digital (ADC) de 8 bits traduce la salida del fototransistor a un formato digital que la computadora pueda interpretar. Siete LEDs (azul, violeta, verde, amarillo, naranja, rojo oxido y rojo) proveen un rango de lectura a través del espectro visible. La falta de continuidad espectral entre los LEDs adyacentes da como resultado que no se obtenga el color adecuado de la comparación, por lo tanto el circuito proporciona una compensación integrada para este error.

Dos programas controlan la operación de los circuitos. Uno de estos programas permite medir, analizar y guardar el color con valores y asociarle un nombre. El otro programa mide y analiza colores no conocidos y provee la mejor comparación con un color estándar definido, así como su relativo factor de error.

4.1 Diagrama a Bloques del Sistema.

El diagrama a bloques del sistema, mostrado en la figura 4.1 presenta los componentes básicos que lo conforman.

Este sistema se encuentra conectado al bus de una PC con las siguientes características que a continuación se enlistan:

- Computadora *386SX*
- *2Mb* en RAM
- Monitor *SVGA*
- Drive de 3.5"

La eficiencia o deficiencia del sistema, depende de las características del sistema; es decir, a mayor potencia del equipo mayor eficiencia del sistema y viceversa, a menor potencia del equipo mayor deficiencia.

El convertidor A/D utilizado, es un dispositivo diseñado para ser operado desde un microprocesador común mediante el bus de control con registros de salida de tres estados, manejando el bus de datos. Estos dispositivos pueden ser creados para aparecer en el microprocesador como una localidad de memoria o un puerto de entrada/salida. El dispositivo puede operar con una señal de reloj externa o adicionando un resistor y un capacitor, usando un generador de pulsos de reloj.

El convertidor A/D envía los datos en forma de señales digitales a la computadora, para que a su vez ésta los interprete.

Se uso un comparador de 8 bits, el cual realiza una comparación de dos palabras de 8 bits cada una, con la condición de expansión o habilitación externa. Los datos de entrada son comparados dando como resultado una señal de salida, la cual será $\overline{P = Q}$, esta señal habilitará al registro octal.

La tabla 4.2 muestra los valores de verdad que deben tener asignadas las entradas para obtener una salida en nivel alto o bajo dependiendo del valor deseado.

Entrada		Salida
\overline{EN}	Dato	$\overline{P = Q}$
L	$P = Q$	L
L	$P \neq Q$	H
H	X	H

Tabla 4.2 Tabla de Verdad del Comparador.

El registro de 8 bits tiene salidas de tres estados, diseñado específicamente para conducir capacitancias altas o cargas de baja impedancia. El estado de alta impedancia incrementa la capacidad de este registro para conectarlo directamente al bus o un sistema de bus, sin ser necesarios componentes adicionales. Este tipo de registros son muy utilizados para la conexión de puertos de E/S, bus bidireccional y trabajar con registros.

Este registro se encuentra compuesto de 8 latch inversores del tipo D, siendo habilitado mediante la terminal G, donde la Q estará en alto, seguido del complemento de los datos de las entradas en D. Cuando la entrada es habilitada en bajo, la salida puede ser atrapada por el complemento de los datos que se introdujeron.

En el sistema una vez habilitado el registro, la función ahora de éste es atrapar los datos provenientes del bus de la PC.

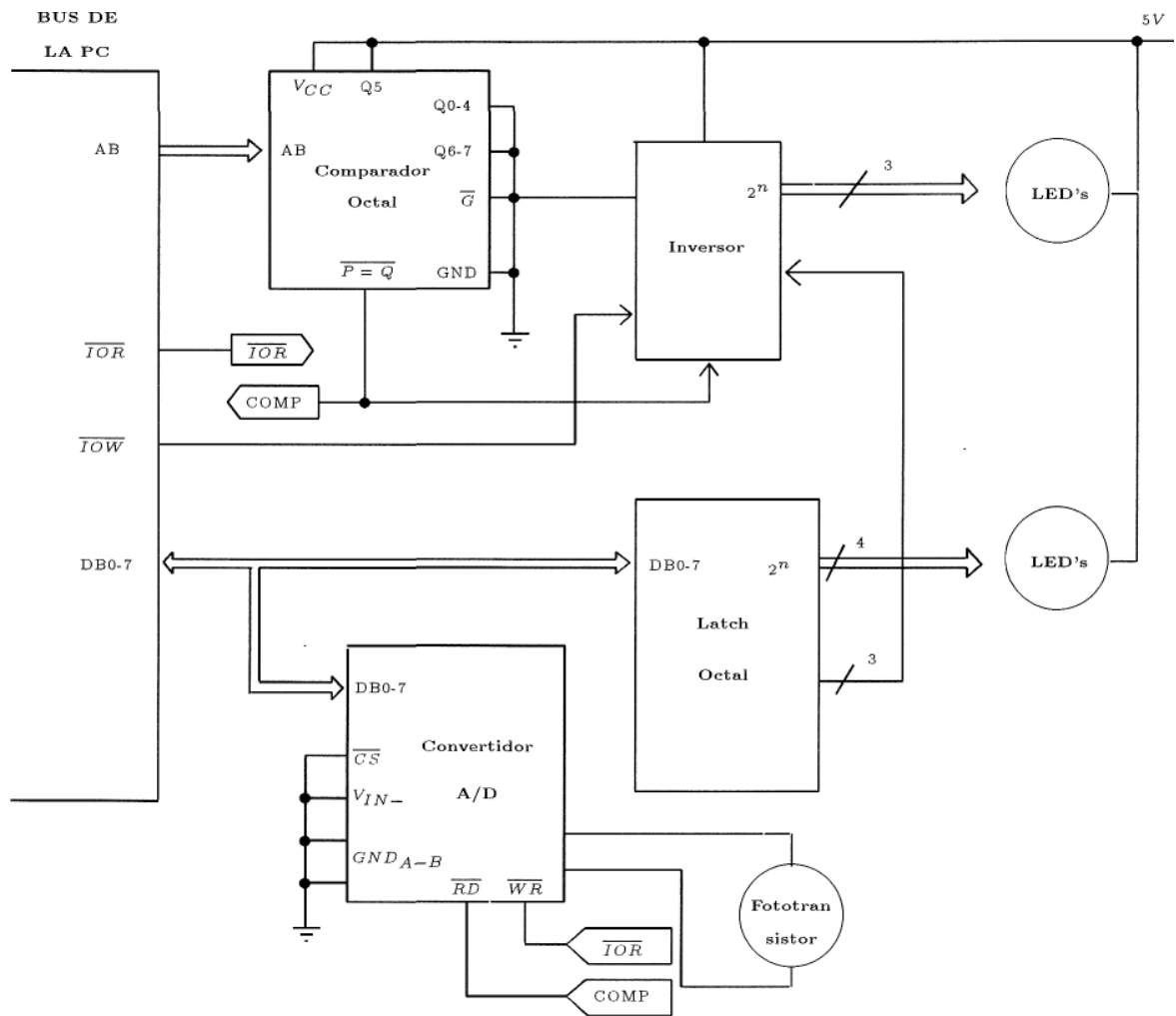


Figura 4.1 Diagrama de Bloques.

4.2 Descripción del Circuito.

La figura 4.3 muestra el circuito eléctrico. Tres CI's hacen el trabajo. El primero es el CU, un 74TCT688 comparador de 8 bits, el cual proporciona una señal en bajo en el terminal 19 cuando los valores en CI1 de las entradas P y Q son iguales. Esto sucede cuando está ocurriendo un Acceso-Directo a Memoria (DMA) (i.e. AEN es bajo), cuando la línea de direcciones A9 es alto, y las líneas de dirección A3 — A8 se encuentran en bajo. Si se trabaja sin la igualación, se verá que esto ocurre siempre que cualquier puerto de I/O sea accesado en el rango de 512 — 519. Si estas direcciones del puerto son usadas en el sistema, fácilmente se cambia el valor para distintas conexiones de la entrada Q a tierra, y +5 volts DC.

También es necesario cambiar el valor de *ADR* definido en la línea 2 de ambos programas. Cada vez que el terminal 19 del CU va a bajo, los latches del CI3 proporcionan corriente al bus de datos de 8 bits. De estos 8 bits 7 son los que manejan los valores de los 7 LEDs, siendo de la 2^0 a la 2^6 . (El LED2 es una unidad dual que contiene tanto a los LEDs rojo como al amarillo, así que solo hay 6 dispositivos). La terminal 19 del CI1 también conduce la entrada \overline{RD} del CI2 que es el conversor ADC. Esto causa que el CI2 muestre un voltaje en la terminal 6.

Este voltaje depende primeramente de la cantidad de luz incidida en Q1, un fototransistor de propósito general. El fototransistor detecta luz de la orden de cualquiera de los LEDs utilizados en el diseño de este trabajo.

La entrada de voltaje a el *ADC* también depende del estado del terminal 19 de CI3. Cuando este terminal está en bajo, el resistor R3 está en paralelo con R2, así cambia la polarización del fototransistor y de aquí a el voltaje en el terminal 6 del ADC. La frecuencia de la señal del reloj del ADC depende del valor de R1 y C1, el cual representa una frecuencia de cerca de 400KHz.

Note que una conversión en el A/D ocurre cada vez que se accesa al puerto de I/O en la dirección $\overline{512} - 19$. Otro evento puede ocurrir, dependiendo si se accesa al puerto para lectura (*I/OR*) o escritura (*I/OW*).

Si la señal $\overline{(I/OR)}$ del CPU es baja, el terminal 3 del ADC va a bajo, forzando al ADC a presentar un valor al bus de datos. En otro caso, si la señal $\overline{(I/OW)}$ del CPU está en bajo, el terminal 11 de CI3 va a alto, así cambia el valor en el bus de datos dentro de CI3.

Cada registro en CI3 que esta proveído de latches invierten la capacidad de la salida de 35 miliampers.

La tabla 4.3 resume información importante acerca de los LEDs. El código de activación es el valor que debe determinarse en el puerto I/O asignado para activar o desactivar un LED dado. Los valores naturalmente son asumidos para habilitar o deshabilitar varios LEDs a la vez. Notar que el LED6, requiere conexión directa a +12 V.

Tanto el LED3 como el LED4 son unidades duales. Los circuitos incluyen ambas unidades, tanto el amarillo como el rojo en el LED3, pero esto solo se utiliza en la unidad naranja que es el LED4.

Los valores seleccionados de R4-R9 proporcionan al ADC un rango aproximado de 5 (para una superficie negra) a 200 (para una superficie blanca) para cada LED. Esto proporciona una respuesta al rango máximo de colores. Los valores más altos del ADC pueden causar que el fototransistor se sature, previniendo así al circuito para que distinga diferentes colores.

Aunque pueda existir algún traslape entre dos colores, existe un amplio espectro entre los LEDs aqua (LED6 482nm) y verde (LED2 560 nm). Este problema se resuelve energizando simultáneamente los LEDs, así como disminuyendo la sensibilidad del ADC. Para el valor 194 ($128 + 64 + 2$), ambos LEDs están habilitados y R3 es habilitado a través del diodo DI. Esto incrementa el número de colores que pueden ser identificados desde unos cientos hasta más de 1000.

La alimentación de algunos circuitos integrados del sistema es de 5 volts, la cual se obtiene de una línea de la computadora que proporciona 12 volts y este se divide mediante el regulador de voltaje 7805 el cual proporciona dicha salida.

LED	Longitud de Onda	Color	Valor de Activación
LED1	470 nm	Azul	$2^0 = 1$
LED2	560 nm	Verde	$2^1 = 2$
LED3-a	590 nm	Amarillo	$2^2 = 4$
LED3-b	700 nm	Rojo	$2^3 = 8$
LED4	630 nm	Naranja	$2^4 = 16$
LED5	665 nm	Rojo oxido	$2^5 = 32$
LED6	482 nm	Violeta	$2^5 = 32$

Tabla 4.3 Colores y Códigos de LED's.

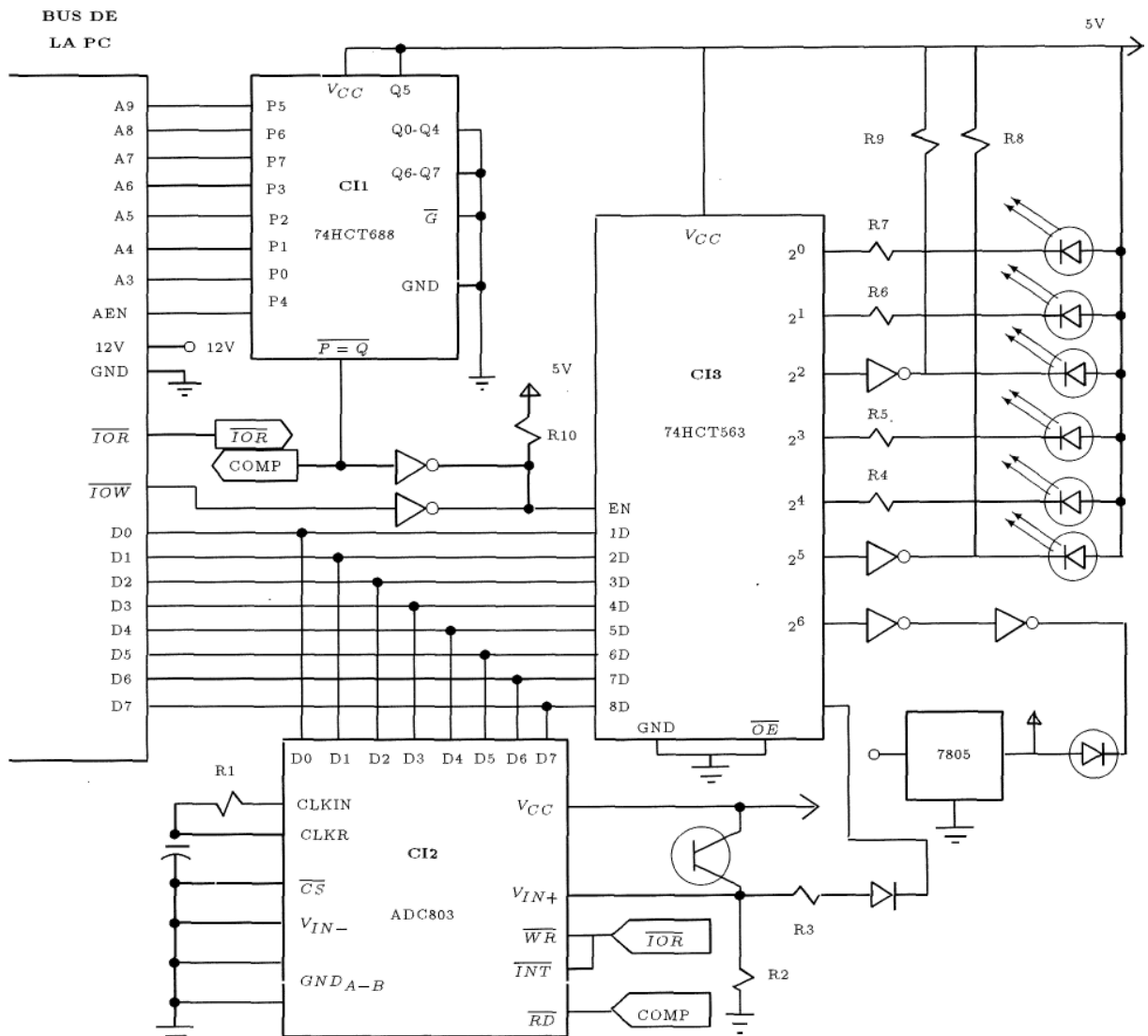


Figura 4.3 Circuito Eléctrico.

4.3 Programación del Sistema.

El programa CALIBRACIÓN usa dos archivos externos CALI y CAL2, para guardar información. CALI guarda valores estándar y CAL2 guarda nombres correspondientes.

Para crear los archivos de calibración, se corre el programa CALIBRAC. El programa pedirá el "nombre estándar", o presionar "e" para finalizar la calibración. Si tu presionas "e", el programa finaliza, desplegando una lista de colores estándar calibrados en la última ejecución. De otra forma, éste creará un estándar nuevo usando el nombre que le proporcionas. Este creará los valores estándar para habilitar cada LED (o la combinación del LED2/LED6) en turno, haciendo 50 lecturas sucesivas del valor censado por Q1. El valor de cada color (que es sumado en la variable K), en el campo apropiado del archivo de datos. Si se quiere volver a ejecutar un valor estándar, presiona "n" en el prompt. El programa preguntará el valor numérico del estándar, si tu quieres volver a ejecutarlo entonces actualizará el valor numérico apropiado.

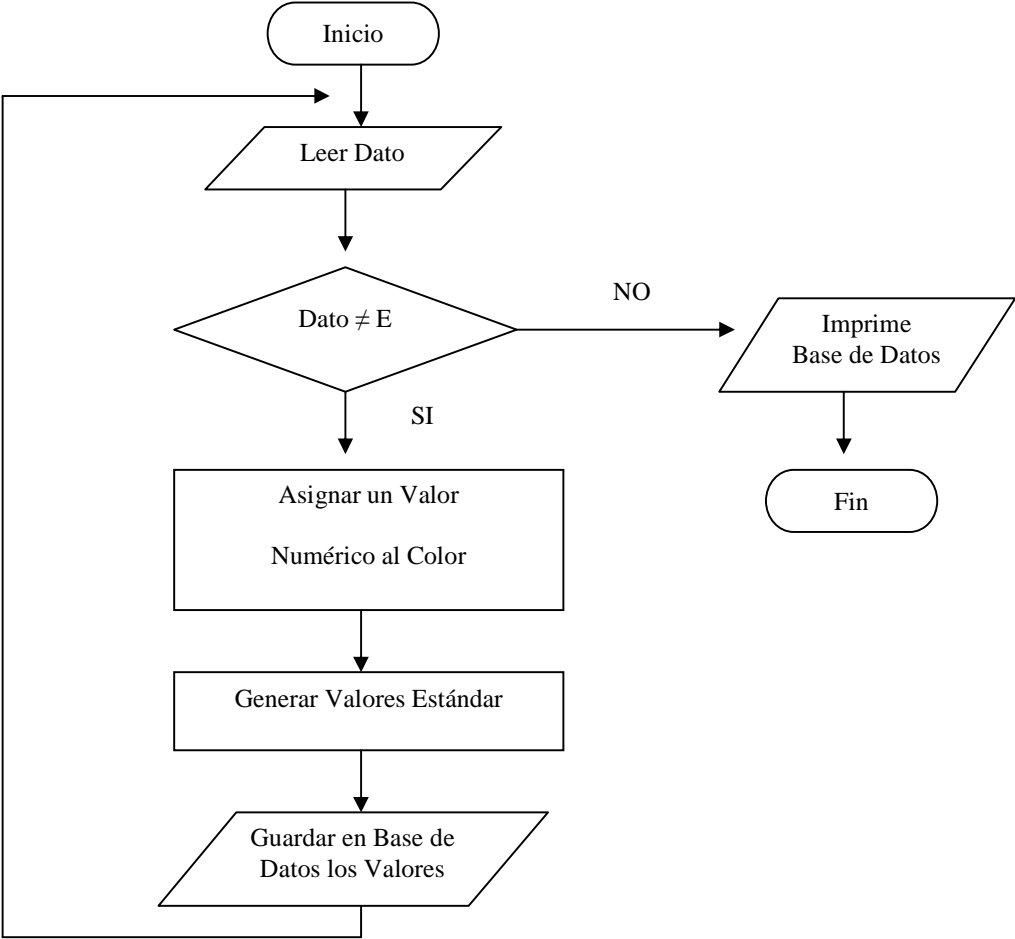
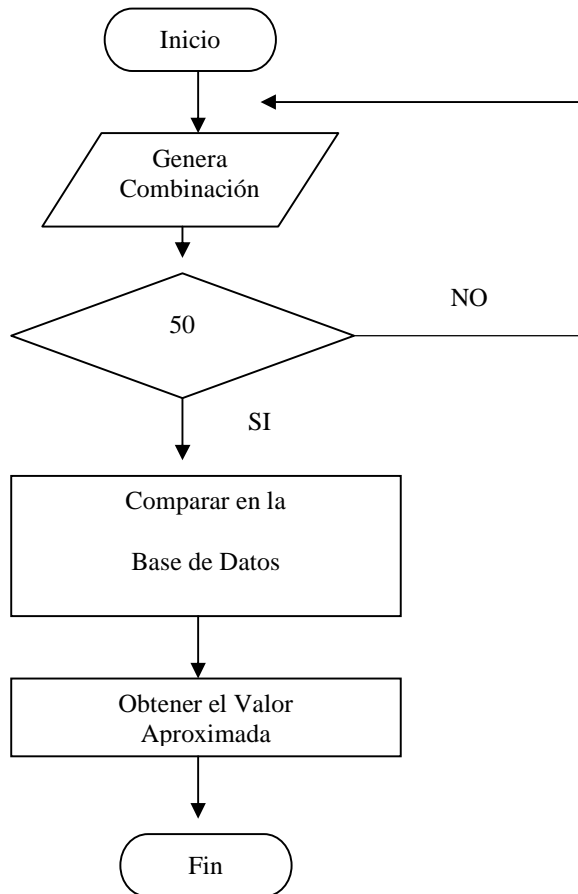


Diagrama de flujo

Para identificar un color desconocido, corre IDENTIF. Como el programa CALIBRAC, IDENTIF muestra cada LED (o combinación) 50 veces y suma el resultado. El programa entonces compara la suma contra el valor almacenado en el archivo estándar y encuentra el más parecido. El programa calcula el error como la suma de los cuadrados de la diferencia, con doble peso dado por el led dual violeta/verde. Para el manejo del sistema se utilizó una computadora 286, la cual determina el color en menos de tres segundos. Se pueden utilizar computadoras superiores a esta para realizarlo de forma más rápida.



Capítulo 5

Perspectivas.

1. Para obtener un sistema más eficiente se le pueden incluir los siguientes dispositivos:

- Procesador.
- Memoria.
- Teclado.

Con esto el sistema no dependería de una PC, haciéndolo así más económico.

2. Si al sistema se le cambia el Convertidor A/D por otro de mayor resolución, la eficiencia de éste sería mucho mayor, puesto que al hacer este cambio el sistema reconocería un número mayor de colores y con una mejor exactitud de respuesta.

Capítulo 6

Conclusiones.

1. Para finalizar concluiremos que los objetivos planteados al inicio de este trabajo se cumplieron en un 100%, obteniendo los resultados deseados.
2. La verificación del sistema fue realizada en base a 20 muestras, teniendo cada muestra un color diferente. Al realizar la verificación del sistema con las muestras se obtuvieron los resultados deseados, siendo capaz de reconocer el color de cada una de las superficies expuestas a éste.

Bibliografía

- [1] Lógica Digital y Diseño de Computadoras. M. Morris Mano. Prentice Hall.
- [2] Física General. Máximo Antonio. Alva Renga
Beatriz. Haría.
- [3] Lenguaje Ensamblador para Micro computador as. ,]. Terry Godfrey. Prentice Hall.
- [4] Mantenimiento de Computadoras. Villegas Rosas Gerardo. Facultad
de Computación, BUAP.
- [5] Electrónica Práctica.
Bustillos Díaz Mario Mauricio. Facultad de Computación, BUAP.