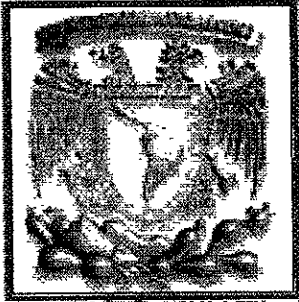


16



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONTROL DIFUSO
DE
POSICIÓN VERTICAL**

296576



**T E S I S P R O F E S I O N A L
Q U E P A R A O B T E N E R E L T Í T U L O D E
I N G E N I E R O M E C Á N I C O E L E C T R I C I S T A
E L É C T R I C O - E L E C T R Ó N I C O
P R E S E N T A
J U A N J O S É C A N O B A U T I S T A**

DIRECTOR DE TESIS: ING. ROBERTO MACÍAS PÉREZ

CIUDAD UNIVERSITARIA 2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

***“ El ingenio humano,
amparado por la ciencia,
debe consagrarse a la solución
de los grandes problemas
de la vida ”***

Agradezco el apoyo de mis padres, mi bro, mi abuelita, Lupita , Doña Cande †,
Herman †, mis tíos, , mis maestros, mis amigos y a todos los que
de alguna forma me ayudaron a superarme.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1 Planteamiento del problema

Planteamiento del problema	7
Modelado del Sistema	9

CAPITULO 2 Lógica Difusa

Lógica difusa	17
Teoría de conjuntos	23
Relaciones	27
Composiciones	30

CAPITULO 3 Control Difuso

Control difuso	31
Difusión	36
Reglas	40
Desdifusión	42
Sistema a diseñar	46

CAPITULO 4 Programación

Programación	53
Pseudocódigo	58
Código	60

CAPITULO 5 Desarrollo del Sistema Físico

Desarrollo del Sistema físico	73
Medición	74
Microprocesador	76
Dispositivos de fuerza	76
Alimentación	77
Diseño y cálculos	79

CAPITULO 6 Pruebas y Conclusiones

Pruebas y Conclusiones	91
------------------------	----

Apéndices

APÉNDICE A. Teoría Electrónica

APÉNDICE B. Hojas de Datos Técnicos

APÉNDICE C. Diagrama Eléctrico

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

Desde siempre, el hombre ha buscado conocer el medio que lo rodea, lo ha estudiado para tratar de comprenderlo y después controlarlo.

Es así como surge el ingenio de los seres humanos para adecuarse a su entorno y es así como surgen las ideas y los nuevos problemas.

El hombre ha logrado utilizar los elementos como son el fuego y el agua, ha observado como se puede transformar una energía en otra y lo ha hecho en beneficio propio.

El descubrimiento de la energía eléctrica y su aplicación a las necesidades del hombre ha traído consigo toda una revolución, que en el siglo pasado e incluso la mitad del presente nadie imaginó.

Cuando Lord Cavendish hacía sus experimentos con la botella de Leyden, descubrió el capacitor y también observó la resistencia eléctrica de los materiales. Luego Ohm llevó a cabo la formulación de la ecuación que lleva su nombre, más adelante se inventarían los inductores y los primeros bulbos. Con esto llegamos a la invención del radio, la televisión y por supuesto la computadora.

Podemos ver hoy en día que con la computadora se originó un desarrollo acelerado del conocimiento y la tecnología, al lograr crear herramientas más precisas se han podido inventar nuevas técnicas para hacer elementos más sofisticados como el transistor o el microchip, que han provocado que el hombre se pueda comunicar y/o encontrar información en cualquier parte del mundo desde su casa (INTERNET), llegar no sólo a la Luna, si no también a Marte (sonda espacial Carl Sagan o PathFinder), la clonación de seres vivos, la robótica, en fin... de lo que hasta ahora conocemos.

La tecnología actual se basa en el uso de la computadora y de la robótica. Esto es haciendo que un sistema electrónico controle un sistema físico, es entonces cuando intervienen las técnicas y los algoritmos de control.

Se hace el control para lograr que un robot o una máquina realice una determinada acción, desde mover un émbolo de un lugar a otro hasta todo un proceso industrial. Pero para este propósito nos interesa mucho saber el como se va a realizar la acción, es decir por ejemplo , al calentar agua para café no podemos hacer que la temperatura del agua se incremente instantáneamente y por otro lado, nos interesa que el agua no se tarde mucho en calentar, pero además el gasto de energía no debe ser excesivo porque cuesta

dinero. Es aquí cuando interviene la elección del controlador y la técnica a usar :

- Por medios mecánicos (p.e. llave o válvula de gas)
- Por medios eléctricos (control analógico o digital)
- Por medios ópticos (lentes, fibra óptica, etc.)

por mencionar algunos.

Pero lo que en realidad interesa al ingeniero en electrónica es el resolver este caso de control por medios eléctricos.

El control analógico se realiza al implementar un sistema de ecuaciones diferenciales, obtenidas de un análisis del sistema a controlar, con elementos eléctricos como resistencias, capacitores, inductores y amplificadores operacionales principalmente.

El control digital se hace con la programación de las ecuaciones en un microcontrolador o microprocesador.

El tipo de controladores que se tienen en ambos casos son del tipo proporcional, derivativo, integral y una combinación de ellos¹. La elección del controlador influirá en la respuesta del sistema (que tan rápido será o que gasto de energía se requerirá para el propósito).

Este tipo de control tradicional funciona adecuadamente en sistemas lineales, pero para los sistemas no lineales el control tradicional presenta inconvenientes. Uno de ellos es que se tienen

que resolver una serie de ecuaciones diferenciales a veces no lineales; lo cual origina que el microcontrolador requiera de gran capacidad de memoria y varias operaciones que implican que el problema no pueda ser resuelto en tiempo real. Se podría resolver con una supercomputadora, pero se necesitaría una infraestructura muy costosa, por lo que el proyecto en general no sería factible económicamente.

Para solucionar este problema se ha empezado a utilizar una técnica de control que se basa en la *Lógica Difusa* (Fuzzy Logic)², resolviendo los problemas en tiempo real, con poca memoria y sin la necesidad de un gran microcontrolador.

La presente Tesis plantea un sistema no lineal como demostración del control utilizando la lógica difusa.

El objetivo del sistema es el controlar la posición de un émbolo que se encuentra dentro de un tubo vertical (ver fig. I.1). El émbolo se desplaza mediante el impulso de una corriente de aire que se le inyecta al tubo.

¹ Se explicarán más adelante

² ZADEH, LOTFI ASKER., *"Fuzzy Logic for the management of uncertainty"* Edit. By Lotfi A. Zadeh, Janusz Kacprzyk, New York: J. Wiley, 1982. p. 873

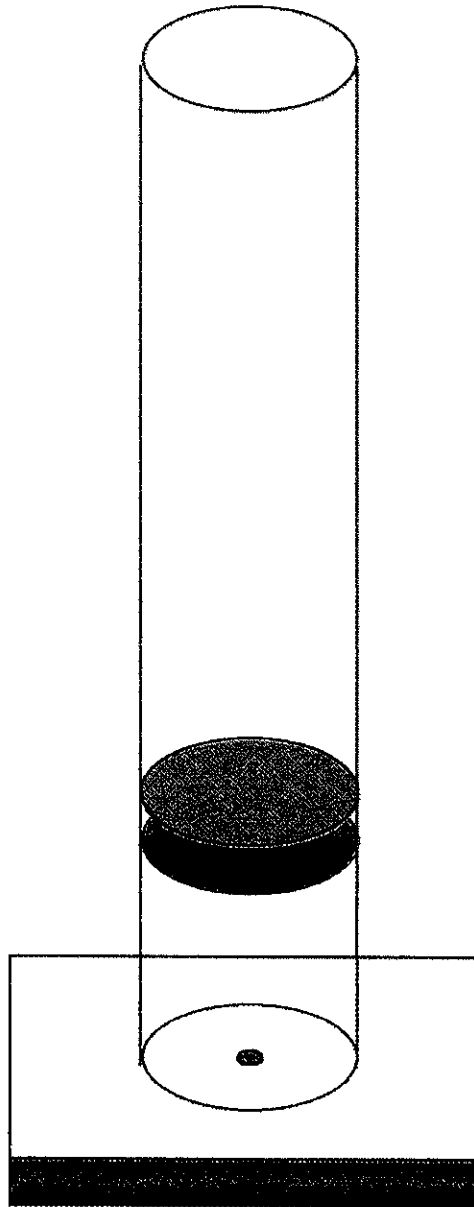


Figura I.1 Embolo dentro de un tubo vertical

CAPITULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema se compone de un émbolo de forma cilíndrica que se desplaza verticalmente dentro de un tubo, mediante la acción del aire. (ver fig.1.1)

El aire circula por el interior del tubo ejerciendo una presión en el émbolo, lo que provoca que éste tenga un movimiento ascendente hasta cierta altura. La altura a la que llegará el émbolo dependerá del gasto de aire que circule por el interior del tubo.

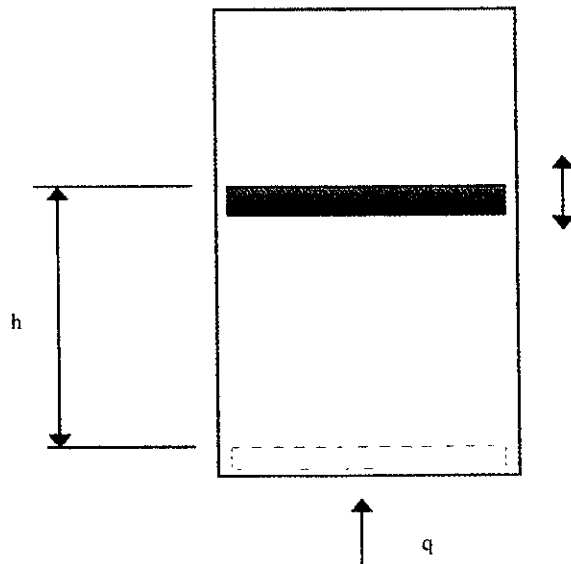


Figura 1.1 Movimiento del émbolo mediante la acción del aire (q)

Donde: h = Altura

q = gasto

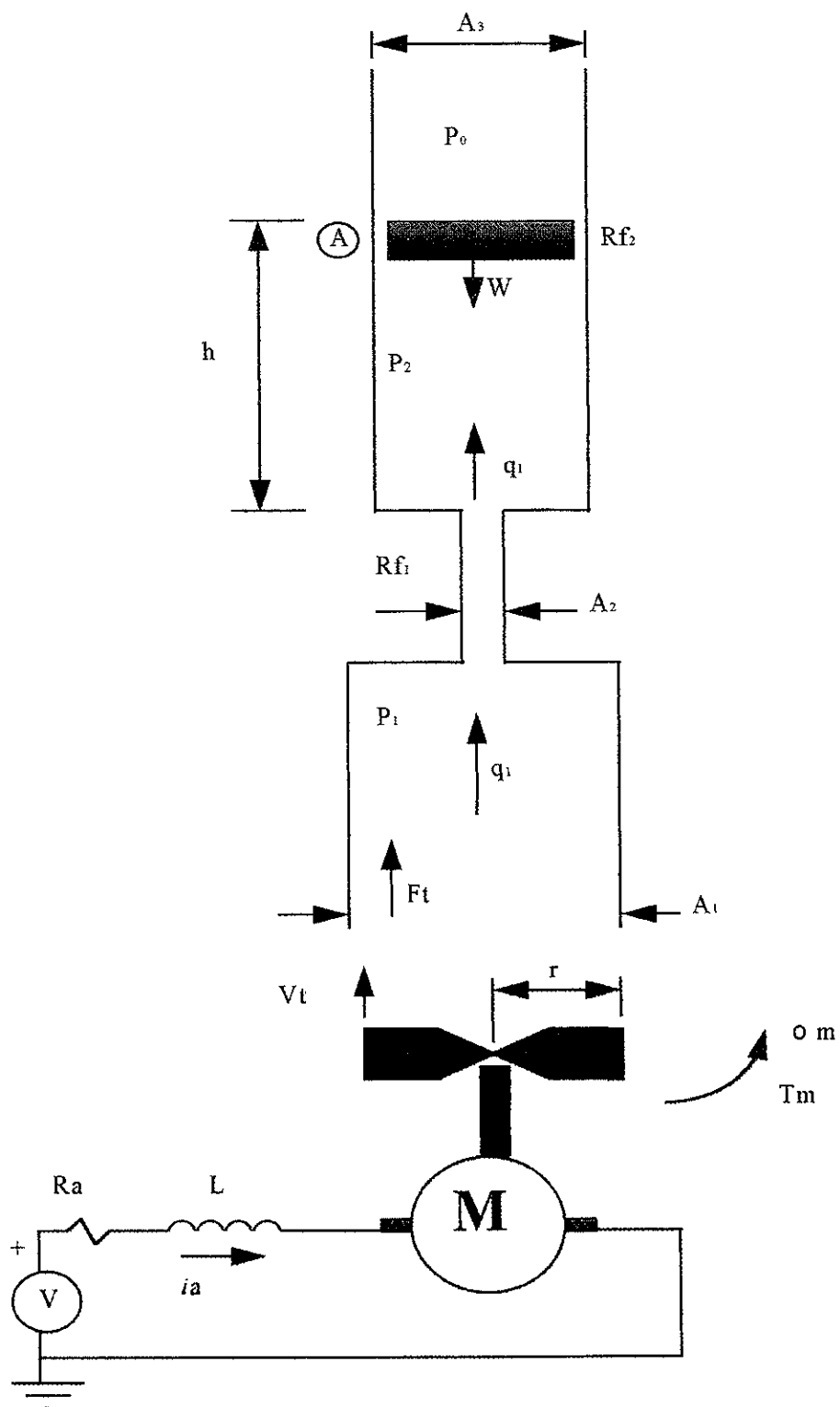
El propósito del sistema es mantener el émbolo a una altura predeterminada.

El émbolo debe ser de un material ligero para poder ser elevado por el aire. Esto implica que al tener pequeñas variaciones en el gasto de aire, el émbolo tienda a ascender y descender de forma brusca, lo que plantea la necesidad de un control que pueda operar en tiempo real.

Para seleccionar el tipo de control se deben observar las características físicas del sistema, por lo cual se necesita un modelo del mismo. El modelo puede ser matemático o una representación a escala. En este caso el sistema no es muy complejo y se puede modelar matemáticamente.

Un modelo matemático es muy útil ya que traduce el sistema a una forma que se pueda comprender.

MODELADO DEL SISTEMA



Donde:

P_0 = Presión atmosférica

P_1 = Presión del fluido dentro de la manguera de acceso

P_2 = Presión del fluido dentro del tubo

A_1 = Area transversal de la manguera de acceso

A_2 = Area transversal de acceso del tubo

A_3 = Area transversal del tubo

R_{f1} = Resistencia fluidica entre la manguera y acceso del tubo

R_{f2} = Resistencia fluidica entre el émbolo y la salida del fluido

Q = Capacitancia fluidica dentro del tubo

q_1, q_2 = Gasto

W = Peso del émbolo

F_t = Fuerza del fluido

V_t = Velocidad tangencial

r = radio de la hélice

ω_m = Velocidad angular del motor

T_m = Par del motor

R_a = Resistencia del devanado

L = Inductancia del motor

V_a = Diferencia de potencial del motor

i_a = Corriente del motor

Ecuaciones del sistema:

$$\begin{aligned}
 Q &= C_f \cdot \dot{P}_{20} \dots\dots\dots(1) \\
 P_1 - P_2 &= R_{f1} \cdot q_1 \dots\dots\dots(2) \\
 P_2 - P_0 &= R_{f2} \cdot q_2 \dots\dots\dots(3) \\
 P &= \frac{F}{A} \dots\dots\dots(4) \\
 P_1 &= \frac{P_w}{q_1} \dots\dots\dots(5) \\
 q_1 - q_2 &= Q \dots\dots\dots(6) \\
 P_2 &= P_0 + \rho \cdot g \cdot h \dots\dots\dots(7) \\
 T_m &= K_f \cdot I_a \dots\dots\dots(8) \\
 V_a &= K_a \cdot \omega_m \dots\dots\dots(9) \\
 F_t &= \rho \cdot q_1 \cdot V_t \dots\dots\dots(10) \\
 T_m &= \rho \cdot q_1 \cdot V_t \cdot r \dots\dots\dots(11) \\
 V_L &= L \frac{dI_a}{dt} \dots\dots\dots(12)
 \end{aligned}$$

Substituyendo la ecuación 1 en la ecuación 6:

$$\begin{aligned}
 q_1 - q_2 &= C_f \cdot \dot{P}_{20} \dots\dots\dots(13) \\
 q_2 &= \frac{1}{R_{f2}} (P_2 - P_0) \dots\dots\dots(3)
 \end{aligned}$$

substituyendo ecuación 3 en 13:

$$q_1 - \frac{1}{R_{f2}} (P_2 - P_0) = C_f \cdot \dot{P}_{20} \dots\dots\dots(14)$$

de la ecuación 7 :

$$P_2 - P_0 = \rho \cdot g \cdot h$$

que al substituir en la ecuación 14 :

$$q_1 - \frac{1}{R_{f2}} \rho \cdot g \cdot h = C_f \cdot \rho \cdot g \cdot \dot{h} \dots\dots\dots (I)$$

Reordenando términos:

$$\dot{h}(t) + \frac{1}{C_f \cdot R_f} h(t) = \frac{1}{C_f \cdot \rho \cdot g} q_1(t) \dots\dots\dots (I)$$

Luego, al hacer un análisis de fuerzas en el punto A :

$$\Sigma F = 0$$

$$F_2 = P_0 \cdot A_3 - W \dots\dots\dots (15)$$

de 4

$$P_2 = \frac{F_2}{A_3}$$

$$\bar{F}_2 = P_2 \cdot A_3 \dots\dots\dots (16)$$

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1} \dots\dots\dots (17)$$

substituyendo la ecuación 16 en 15:

$$P_2 \cdot A_3 = P_0 \cdot A_3 - W \dots\dots\dots (18)$$

De la ecuación 2:

$$P_2 = P_1 - q_1 \cdot R_{f1}$$

substituyendo la ecuación 17 en la ecuación 2:

$$P_2 = \frac{F_1}{A_1} - q_1 \cdot R_{f1} \dots\dots\dots (19)$$

Luego, para encontrar una relación entre la fuerza del fluido y el par del motor, dividimos la ecuación 10 entre la 11:

$$\begin{aligned}\frac{Ft}{Tm} &= \frac{\rho \cdot q_1 \cdot Vt}{\rho \cdot q_1 \cdot Vt \cdot r} \\ \frac{Ft}{Tm} &= \frac{1}{r} \\ Ft &= \frac{Tm}{r} \dots\dots\dots(20)\end{aligned}$$

Como $F_1 = Ft$, al substituir la ecuación 20 en la ecuación 19 :

$$P_2 = \frac{Tm}{A_1 \cdot r} - q_1 \cdot R_{f1} \dots\dots\dots(21)$$

Y al substituir lo anterior en la ecuación 8 :

$$P_2 = \frac{K_f \cdot ia}{A_1 \cdot r} - q_1 \cdot R_{f1} \dots\dots\dots(22)$$

Después se substituye la ecuación 22 en la ecuación 18 :

$$\begin{aligned}\left(\frac{K_f \cdot ia}{A_1 \cdot r} - q_1 \cdot R_{f1} \right) A_3 &= P_0 \cdot A_3 + W \\ \frac{K_f \cdot ia}{A_1 \cdot r} - q_1 \cdot R_{f1} &= P_0 + \frac{W}{A_3} \\ q_1 &= \frac{K_f \cdot ia}{A_1 \cdot r \cdot R_{f1}} + \frac{P_0}{R_{f1}} + \frac{W}{A_3 \cdot R_{f1}} \dots\dots\dots(23)\end{aligned}$$

Pero lo que nos interesa es $\frac{dq_1(t)}{dt}$, por lo que al derivar:

$$\frac{dq_1(t)}{dt} = \frac{K_f}{A_1 \cdot R_{f1} \cdot r} \frac{dia(t)}{dt} \dots\dots\dots(23')$$

De la ecuación 12:

$$V_L = L \frac{di_a(t)}{dt}$$

$$\frac{di_a(t)}{dt} = \frac{\bar{v}_L}{L}$$

Que al substituir en la ecuación 23' :

$$\frac{dq_1(t)}{dt} = \frac{K_f}{A_1 \cdot r \cdot L \cdot R_{f1}} v_L \dots\dots\dots (24)$$

Como la resistencia $R_{a \rightarrow 0}$ entonces $v_c \approx v_L$, por tanto:

$$\dot{q}_1(t) = \frac{K_f}{A_1 \cdot r \cdot R_{f1} \cdot L} v_c \dots\dots\dots (II)$$

Entonces el modelo en variables de estado es:

$$\begin{bmatrix} \dot{h}(t) \\ \dot{q}_1(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{C_f \cdot R_{f2}} & \frac{1}{C_f \cdot \rho \cdot g} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h \\ q_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_f}{A_1 \cdot r \cdot L \cdot R_{f1}} \end{bmatrix} v_a(t)$$

COMPROBACIÓN DE LA LINEALIDAD DEL SISTEMA.

De la ecuación I :

$$\dot{h}(t) + \frac{1}{C_f \cdot R_{f2}} h(t) = \frac{1}{C_f \cdot \rho \cdot g} q_1(t) \dots\dots\dots (I)$$

$$\alpha = \frac{1}{C_f \cdot R_{f2}}$$

$$\beta = \frac{1}{C_f \cdot \rho \cdot g}$$

$$\dot{h}(t) + \alpha \cdot h = \beta \cdot q_1$$

Resolviendo la ecuación para un valor de q_1 ($q_1 = \text{constante}$).

$$h(t) = \frac{\int \beta \cdot q_1 \cdot e^{\int \alpha dt} dt}{e^{\int \alpha dt}} + C \cdot e^{-\alpha t}$$

$$h(t) = \beta \cdot q_1 \cdot t \cdot e^{\alpha t} \cdot e^{-\alpha t} + C \cdot e^{-\alpha t}$$

$$h(t) = \beta \cdot q_1 \cdot t + C \cdot e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (25)$$

Un sistema es lineal si:

- a) $Y(a) + Y(b) = Y(a+b)$
- b) $K Y(a) = Y(Ka)$

entonces:

$$h(a) = \beta \cdot q_1(a) + C \cdot e^{-\alpha(a)}$$

$$h(b) = \beta \cdot q_1(b) + C \cdot e^{-\alpha(b)}$$

$$h(a) + h(b) = \beta \cdot q_1(a+b) + C \cdot e^{-\alpha(a)} + C \cdot e^{-\alpha(b)} \dots\dots\dots (26)$$

$$h(a+b) = \beta \cdot q_1(a+b) + C \cdot e^{-\alpha(a+b)} \dots\dots\dots (27)$$

Como las ecuaciones 26 y 27 son diferentes no cumplen con a), por lo tanto el sistema es **no lineal**.

Dado este resultado el control deberá resolver las ecuaciones diferenciales, además del algoritmo de control, para lograr mantener el émbolo en la posición señalada.

De lo anterior se observa que un control analógico resultaría muy lento por el tipo de elementos que se necesitan, además de la disponibilidad o la elaboración de algunos de ellos, el costo y el espacio que ocuparían.

Lo más apropiado y rápido de elaborar sería un control digital.

Una solución podría ser utilizar una computadora con un lenguaje de alto nivel como C, PASCAL ó BASIC. Así se elabora el programa con las ecuaciones del sistema, se resuelven y en este caso tendríamos la rapidez necesaria para lograr el propósito. Pero una computadora es una solución muy costosa y no se aprovecharía al máximo su capacidad, por esto tampoco representa una buena alternativa.

Otra solución sería utilizando un microcontrolador o un microprocesador, que es más barato que una computadora, pero requieren de gran capacidad de memoria para implementar las ecuaciones y además llevaría tiempo resolverlas, lo cual ocasionaría que el sistema no pueda ser controlado en tiempo real; por lo que tampoco es una buena elección.

Para resolver este tipo de problemas del costo y la solución al control de sistemas complejos en tiempo real , el Prof. L.A. Zadeh³ propone en 1965 el concepto de la Lógica Difusa o FUZZY LOGIC.

Con esta nueva herramienta se resolverá el problema planteado.

³ Ibid

CAPITULO 2

LOGICA DIFUSA

El concepto que el Profesor Zadeh⁴ introduce es en verdad muy interesante. Entre otras cosas, la lógica difusa permite manejar la ambigüedad o incertidumbre, es por ello que ha tenido tanto éxito en aplicaciones donde se requiere de un procesamiento rápido de la información, como en imágenes y redes neuronales.

Un ejemplo de ambigüedad es cuando se dice "hombre viejo". Si se pregunta a un grupo de personas a partir de que edad un hombre se vuelve viejo, las respuestas varían de una a otra persona, un niño de 8 años puede pensar que un hombre viejo es aquel que es mayor de 30 años, pero en cambio un joven de 20 años piensa que es a partir de los 50 años, y uno de 40 que es hasta los 70 años. Sin embargo también existe ambigüedad en las respuestas, es decir algunos dirán que es entre los 60 y 80 años cuando un hombre se vuelve viejo; además si un hombre tiene 69 años y esta a un día de cumplir 70 años no por eso al día siguiente será ya un hombre viejo.

Como se observa existe un rango de edades en los que se puede denominar a un hombre "hombre viejo", es decir no está completamente definido a partir de cuando se es un "hombre viejo".

⁴ Ibidem

Se pueden citar muchos otros ejemplos de ambigüedades como pueden ser: "hombre alto", "temperatura alta", "número pequeño"; además de estos enunciados muchas veces se requiere de mayor información para saber a que se aplica.

Si el ejemplo se resuelve en una computadora se tendría que definir una edad para determinar a un "hombre viejo", lo cual como se vio anteriormente no es tan sencillo y dependería del programador.

En los sistemas donde existe este tipo de situaciones la lógica difusa resuelve el problema no con ecuaciones matemáticas, sino con un conjunto de reglas. Las reglas se hacen mediante el conocimiento previo del comportamiento del sistema, por medio de la experiencia.

Esto no significa que no contenga un fundamento matemático, por el contrario. Un conjunto difuso es aquel que tiene una serie de elementos cuya pertenencia al conjunto es una cuestión de grado. El grado de pertenencia se encuentra entre '0' y '1'. Un conjunto 'crisp'⁵ o nítido es aquel cuyos elementos tienen una pertenencia total dentro del conjunto, es decir '0' o '1'.

Aristóteles⁶, filósofo griego, propone un principio de dos estados: El ser o no ser. En términos de conjuntos corresponde a un

⁵ LIPSCHUTZ, SEYMOUR, "Teoría y problemas de teoría de conjuntos y temas afines," Edit. McGraw-Hill. México, 1970.

⁶ Citado por GUTIÉRREZ SAÉNIZ, RAUL "Introducción a la lógica", Edit. Esfinge (1969) 24 Ed. México, 1988, p. 174.

conjunto 'crisp', ya que existen dos elementos únicamente : pertenecer o no pertenecer.

En términos lingüísticos se tiene que un enunciado o es falso o es verdadero.

En cambio la lógica difusa propone que existen "grados de verdad", en donde un enunciado contiene cierta cantidad de verdad y de falsedad, puede ser que éste sea más verdadero o más falso sin ser completamente verdadero o completamente falso.

Lo anterior es más comprensible con el siguiente ejemplo:

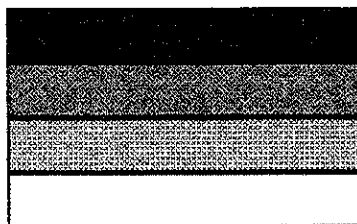


Figura 2.1 Conjunto de colores

Como se observa en este conjunto de colores entre el negro y el blanco existen varios tonos de gris, por lo que al tomar un tono de gris éste es o más blanco o más negro sin ser completamente blanco o negro.

Si a este ejemplo se le aplicara la lógica aristotélica se observaría que los tonos de gris desaparecerían del conjunto, ya que no pertenecen al conjunto de los blancos ni al conjunto de los negros.

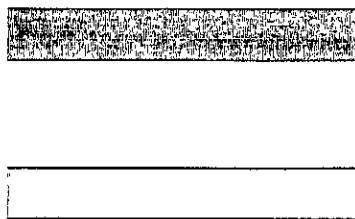


Figura 2.2 Conjunto aristotélico

En un conjunto difuso se tiene lo siguiente :

- a) El conjunto Universo del discurso X , donde están contenidos todos los elementos.
- b) Un conjunto difuso A que pertenece al universo X
- c) Un elemento x que pertenece al conjunto difuso A

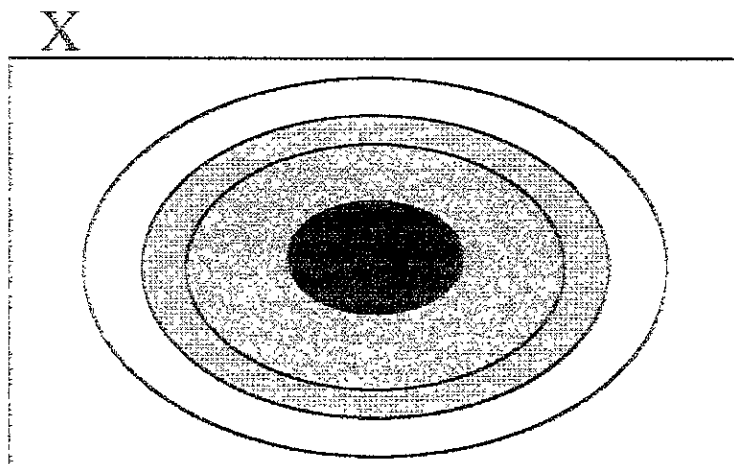
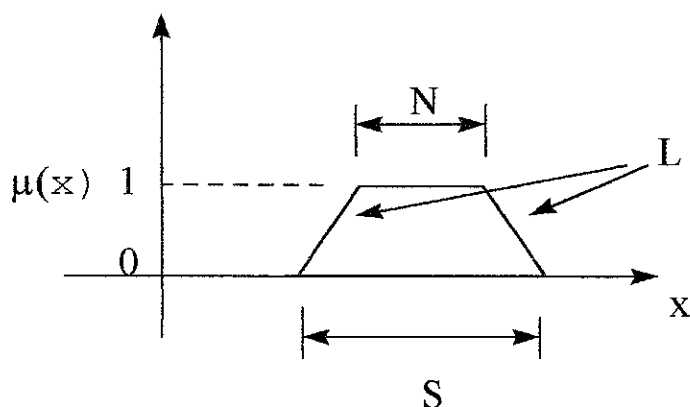


Figura 2.3 Conjunto difuso

También gráficamente :



Donde se tiene:

- i) La función de membresía $\mu(x)$
- ii) El conjunto del soporte $s = \{ x / 0 \leq \mu(x) \leq 1 \}$
- iii) Los límites del conjunto $L = \{ x / 0 \leq \mu(x) \leq 1 \}$
- iv) El núcleo $N = \{ x / \mu(x) = 1 \}$

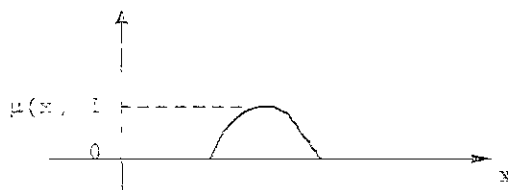
De la figura 2.3 el núcleo representa al color negro, los límites representan la gama de tonos de gris y el soporte corresponde a toda la superficie limitada por la elipse exterior.

La función de membresía define el grado de verdad o de pertenencia de un elemento dentro del conjunto.

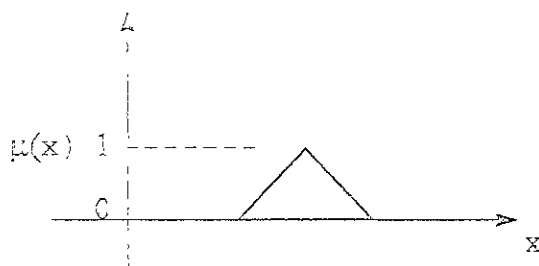
Entonces el color negro tiene un grado de verdad de 1, al ser completamente negro, el gris tendría un grado de verdad de 0.1 a 0.9 dependiendo del tono, y el blanco tiene un grado de verdad de 0, ya que contiene nada de negro.

Con estas características existen diferentes formas de conjuntos:

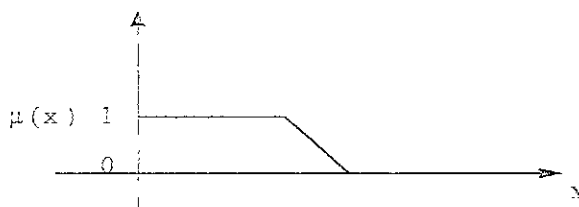
De campana



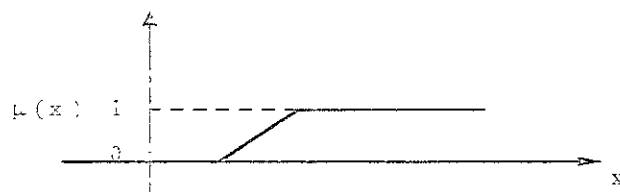
Triangular o lambda



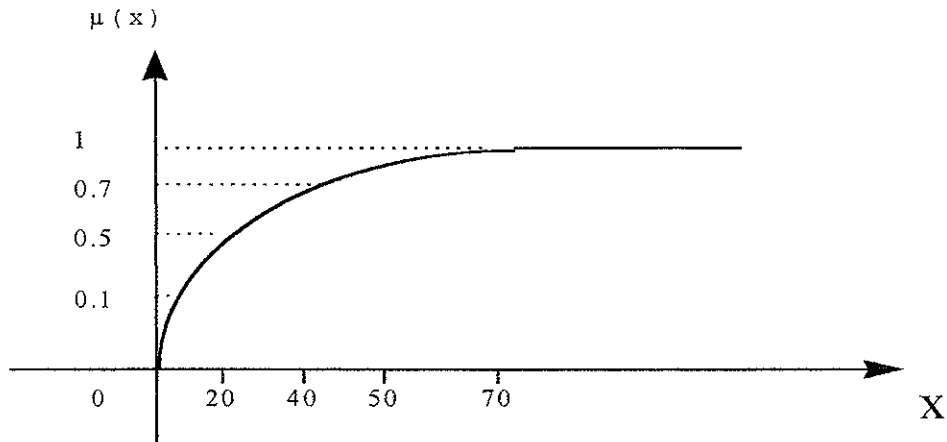
Forma abierta a la izquierda o 'Z'



Abierta a la derecha o 'S'



La forma del conjunto de hombre viejo sería:



Este mismo ejemplo se puede escribir así:

Hombre viejo = { (20, 0.1) , (30, 0.5) , (45, 0.7) , (70,1) }

es decir, H.V. = { (xi, μ_{H.V.}(x)) }

Donde xi = años y μ_{H.V.}(x) = grado de verdad.

El Prof. Zadeh⁷ utiliza la siguiente notación para expresar el conjunto difuso discreto:

$$\text{H.V.} = \left\{ \frac{0.1}{20} + \frac{0.5}{30} + \frac{0.7}{45} + \frac{1}{70} \right\}$$

Como si fuera una suma, pero sin serlo. Entonces para conjuntos discretos :

$$A \approx \sum_{i=1}^n \frac{\mu(x_i)}{x_i}$$

Y para conjuntos continuos:

⁷ Zadeh, L.A., Op. Cit.

$$A = \int_{H_V} \frac{\mu(x)}{x} dx$$

TEORIA DE CONJUNTOS

Conjunto complemento.

- Para un conjunto 'crisp'⁸:

$$A' = 1 - A, \text{ donde } A = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

- Para un conjunto difuso:

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

Por lo que para el ejemplo anterior tendríamos:

$$H.V.' = \{(20, 0.9), (30, 0.5), (45, 0.3), (70, 0)\}$$

Y en notación de Zadeh⁹ tendríamos:

$$H.V.' = \left\{ \frac{0.9}{20} + \frac{0.5}{30} + \frac{0.3}{45} + \frac{0}{70} \right\}$$

Así mismo en la lógica aristotélica encontramos que para los conjuntos:

$A \cdot A' =$ conjunto vacío

$A \cap A' =$ conjunto vacío (Ley de la contradicción)

$A \cup A' = U$ (Ley de Exclusión del medio)

Pero en la lógica de Zadeh¹⁰:

$A \cdot A' \neq$ conjunto vacío

⁸ LIPSCHUTZ, SEYMOUR, Op. Cit.

⁹ Zadeh, L.A., Op. Cit.

¹⁰ Ibid

$A \cap A' \neq$ conjunto vacío

$A \cup A' = U$

También existe la relación de la equivalencia:

Si se tienen dos conjuntos difusos A y B , $A = B$ sí y solo sí

$\mu_A(x) = \mu_B(x)$ para toda x que pertenezca a X .

La relación de la inclusión:

A pertenece a B si y solo si $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ para toda x que pertenezca a X .

Pero también cumplen con las leyes de DeMorgan:

$$\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B} ; \overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B}$$

Para realizar las operaciones de conjuntos (unión e intersección) con los conjuntos difusos, se utiliza el máximo valor de las dos funciones de correspondencia, si se trata de una operación de unión. Para una operación de intersección se ocupa el mínimo valor de las dos funciones de membresía.

Ejemplo 2.1 :

Se tienen los siguientes conjuntos difusos:

$$A = \left\{ \frac{0.2}{1} + \frac{0.6}{2} + \frac{0.8}{3} + \frac{0.3}{4} \right\}$$

$$B = \left\{ \frac{0.4}{1} + \frac{0.3}{2} \right\}$$

los que representan cualquier cosa.

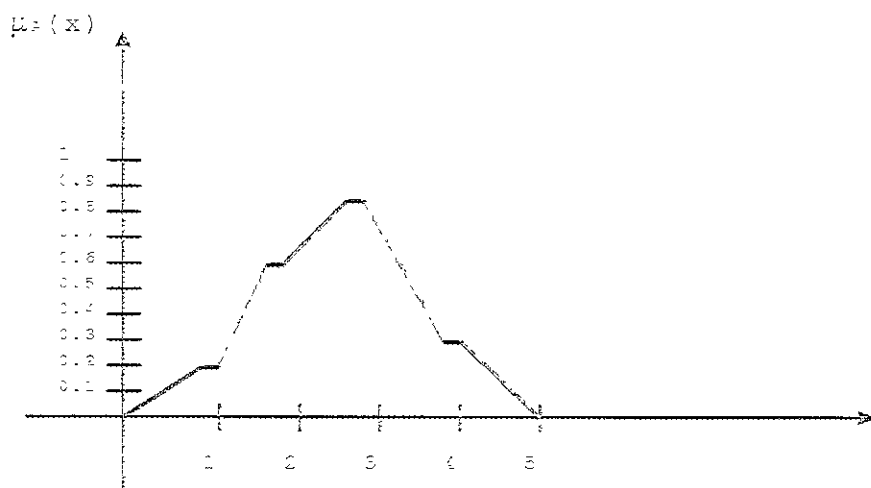


Figura 2.4. Conjunto difuso A

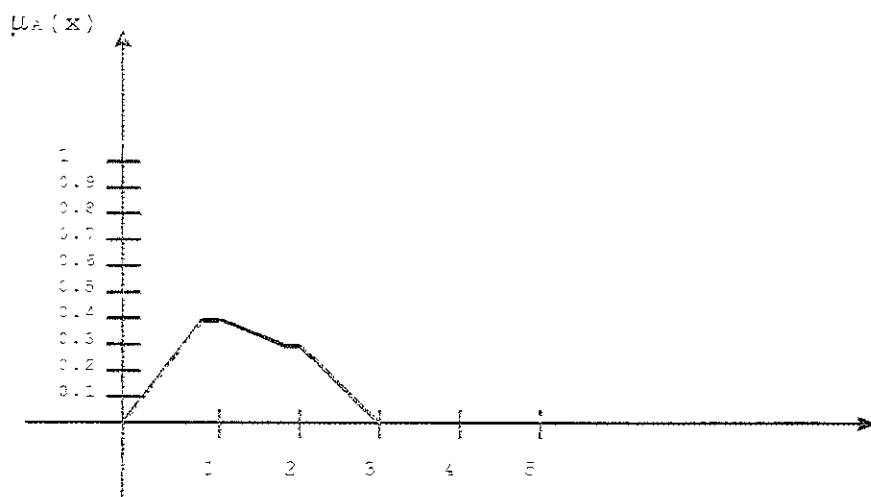


Figura 2.5. Conjunto difuso B

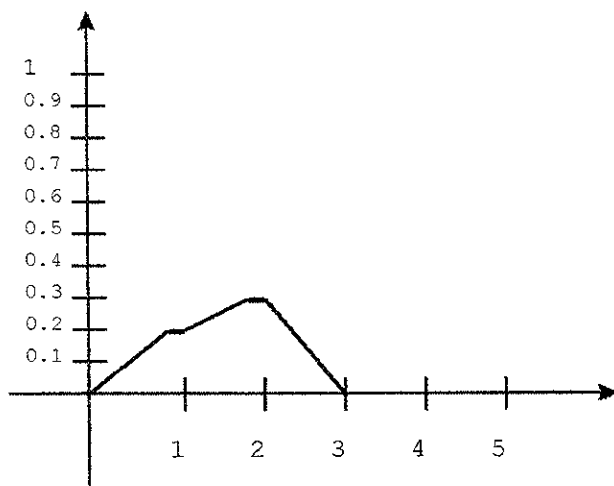
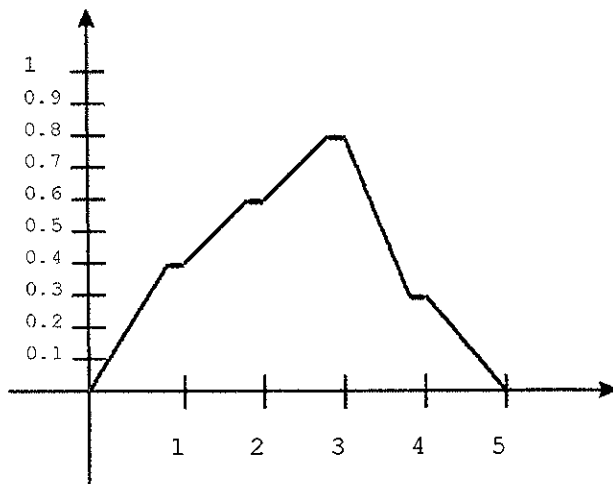
Entonces

$$A \cap B = \left\{ \frac{0,2}{1} + \frac{0,3}{2} + \frac{0}{3} + \frac{0}{4} \right\}$$

$$A \cup B = \left\{ \frac{0,4}{1} + \frac{0,6}{2} + \frac{0,8}{3} + \frac{0,3}{4} \right\}$$

Que gráficamente sería:

²² Ad : El subíndice d denota un conjunto difuso

$\mu(x)$ Figura 2.6 Conjunto $A \cap B$ Figura 2.7 Conjunto $A \cup B$ **RELACIONES**

Una relación es la correspondencia que existe entre dos o más conjuntos.

En una relación entre dos conjuntos se pueden dar varios casos :

Uno es cuando un elemento del primer conjunto se relaciona con varios elementos del segundo.

Otro donde varios elementos del primer conjunto se relacionen con un elemento del segundo.

También se da el caso en el que un elemento del primer conjunto se relacione con uno y sólo un elemento del otro conjunto. Este tipo de relación se le conoce como del tipo uno a uno.

En una relación del tipo uno a uno se puede encontrar un valor incógnito del primer conjunto si se tiene el valor conocido del segundo y viceversa. Este tipo de relaciones se les conoce también como funciones.

En dos conjuntos 'crisp'¹² se dan este tipo de relaciones, con lo que se puede encontrar un valor incógnito. En un caso difuso no se puede, sólo se tiene un sentido.

Para un conjunto 'crisp'¹³ la relación total tendría un valor de '1', y la no relación total el valor de '0'.

En un conjunto difuso la relación tiene valores comprendidos entre '0' y '1'.

Composición :

Suponiendo a R una relación entre X y Y, y S una relación entre Y y Z, lo que haría falta es la relación entre X y Z. Para lo cual se necesita hacer una composición. (ver figura 2.8)

¹² LIPSCHUTZ, SEYMOUR, Op. Cit.

¹³ Ibid

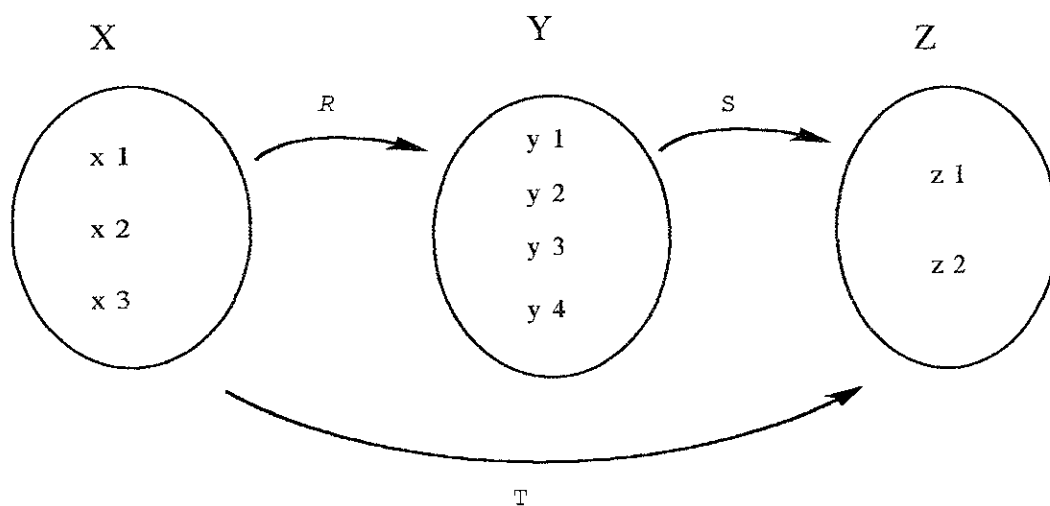


Figura 2.8 Composición. Conjuntos X, Y y Z y relaciones

R, S y T

Lo que se necesita es conocer la relación T que equivale a la composición R con S.

$$T = R \circ S$$

En los conjuntos difusos esto implica una relación del tipo MAX-min, es decir de las funciones de membresía de las dos relaciones se toma primero para cada par ordenado el valor mínimo, del resultado de la operación se obtiene el máximo, y así sucesivamente hasta terminar con todas las relaciones. Esto se observa más claramente con el siguiente ejemplo :

De los siguientes conjuntos 'crisp'¹⁴ encuentre la composición T

¹⁴ Ibidem

CAPITULO 3

CONTROL DIFUSO

Cuando alguien abre la llave del agua para tomar un baño, el sujeto empieza a jugar con las llaves del agua caliente y fría hasta que llega a una temperatura agradable a él, y ya que no tiene instrumentos de medición desconoce la temperatura exacta del agua en ese momento. Sin embargo el sujeto cada vez que toma un baño se aproxima a la misma temperatura y no necesitó de mayor conocimiento que su propia experiencia. Lo que el sujeto realizó fue un control difuso.

El sujeto cada vez que tomó su baño, controló la temperatura del agua hasta que llegó a un valor cercano a la primera vez, pero nunca fue la misma temperatura, mas el control que realizó fue bueno porque la diferencia de temperatura fue insignificante ya que tomó su baño a una temperatura que le pareció agradable.

Lo mismo ocurre en los sistemas físicos, a veces no se requiere de un control muy estricto para llegar al resultado, y en cambio se obtiene la solución del problema con rapidez y sin gran costo.

Un control en general tiene la siguiente estructura :

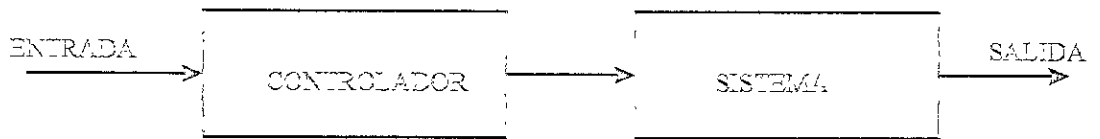


Figura 3.1 Diagrama general de control

Este tipo de control no es bueno porque puede llegar a una condición de inestabilidad, aún siendo un sistema lineal. Por esto es mejor el control con retroalimentación.

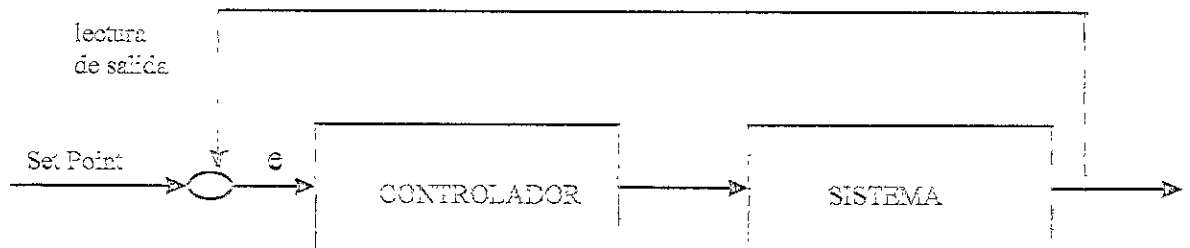


Figura 3.2 Control retroalimentado

donde 'e' es el error o diferencia entre el "set point" o punto deseado y la lectura de salida o lo que se tiene en ese momento.

El control se realiza con los siguientes tipos básicos de controladores :

- 1.- Control Proporcional
- 2.- Control diferencial
- 3.- Control Integral

Y combinaciones de ellos.

El control proporcional es aquel en el cual la salida se regula en forma proporcional al error.

$$P = K_p * e$$

donde : K_p = ganancia proporcional.

e = error entre la entrada y el objetivo.

El control diferencial es cuando la salida es regulada con la función diferencial del error.

$$D = K_d * \frac{d e}{d t}$$

El control integral se refiere a regular la salida con la función integral del error.

$$I = K_i \int e dt$$

Luego los siguientes controladores son suma de los mismos, como lo es el control proporcional - integral (PI) :

$$PI = K_p * e + K_i \int e dt$$

el proporcional - integral - diferencial (PID).

$$PID = K_p * e + K_i \int e dt + K_d * \frac{d e}{d t}$$

De estos controladores se obtienen diferentes respuestas.

En la figura 3.3 se pueden observar las diferentes respuestas de los controladores a diferentes entradas.

El control difuso realiza el proceso de las señales siguiendo el camino de la figura 3.4.

Las señales de la entrada son del tipo nítido o 'crisp'¹⁶ por lo tanto, como se observa en la figura 3.4, se debe realizar primero una "difusión" (fuzzyfication)¹⁷ de la señal, es decir pasar del entorno 'crisp'¹⁸ al 'fuzzy'¹⁹.

¹⁶ Ibidem

¹⁷ Zadeh L.A., Op. Cit.

¹⁸ Op. Cit.

¹⁹ Zadeh, L.A., Op. Cit.

entrada control	ESCALON	PULSO	RAMPA	SENOIDE
P				
I				
D				
PI				
PD				
PID				

Figura 3.3 Respuestas de controladores

(las formas varían con los valores de las constantes)

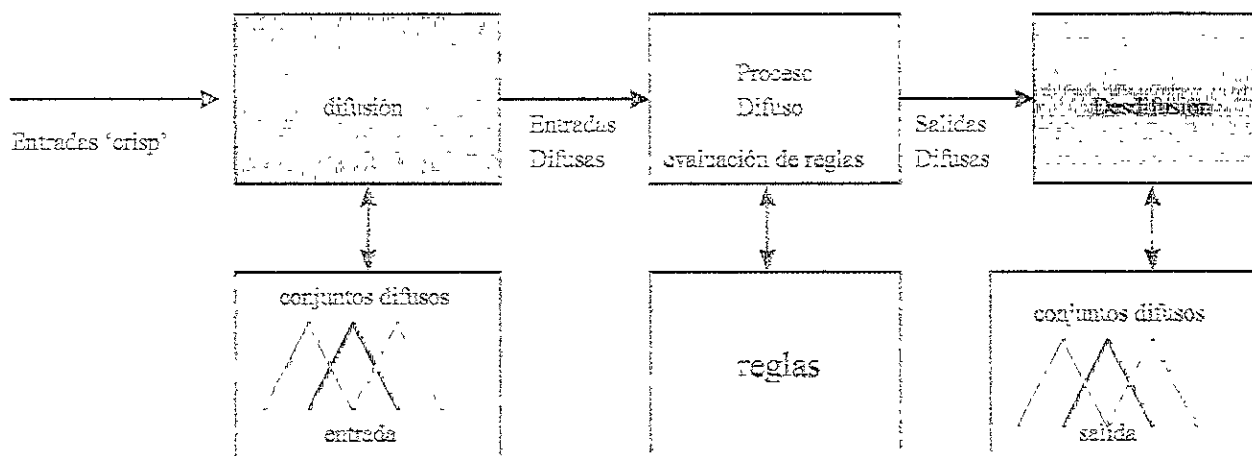


Figura 3.4 Máquina de inferencia

DEFUSION

La difusión consiste en convertir un valor de un entorno 'crisp'²⁰ en valores difusos. Estos valores son las pertenencias del valor 'crisp'²¹ a los diferentes conjuntos difusos.

Para definir los conjuntos difusos existen diferentes métodos²² que son :

- 1.- Por Intuición (en base a la experiencia).
- 2.- Por Inferencia.
- 3.- Ordenamiento por Rango.

POR INTUICIÓN.- En éste método se utiliza el conocimiento intuitivo del experto²³. Por ejemplo la temperatura ambiente en un cuarto.

²⁰ Op. Cit.

²¹ Ibid

²² Existen otros métodos como son por redes neuronales, algoritmos genéticos y conjuntos difusos angulares, pero no se tratarán en la presente tesis.

Una temperatura "muy fría" puede ser menor a los 5 °C.

Una temperatura "fría" sería a partir de 3 °C hasta 18 °C.

Una temperatura "templada" de 15°C a 25 °C.

Y una temperatura "caliente" desde los 20°C en adelante.

Los rangos dependen de cada experto.

De esta forma en la figura 3.6 se puede observar que un valor de temperatura menor a 3 °C se considera como "muy frío", pero un valor de 4 °C posee dos calificativos : "muy frío" y "frío" .

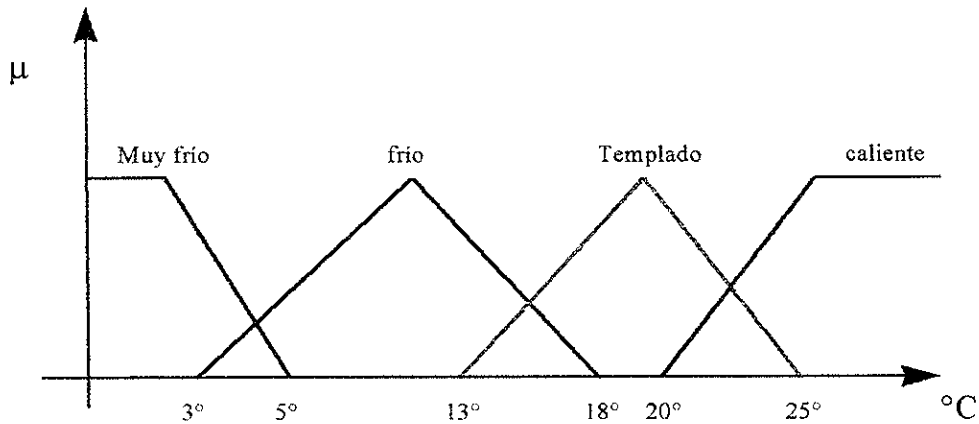


Figura 3.5 Conjuntos difusos de temperaturas

POR INFERENCIA.- Se parte de un conocimiento previo.

Por ejemplo : la temperatura de congelación del agua es de 0 °C.

El agua comienza a congelarse a partir de los 4 °C

Experto : Persona que posee experiencia previa o conocimiento sobre el tema.

REGLAS

Se usan las reglas para representar la relación entre las variables lingüísticas²⁷.

Las reglas son un conjunto de juicios lógicos que pueden tener un carácter de asignación, de condición o incondicionales.

Un ejemplo de una regla de asignación es : "La manzana es roja", una regla condicional puede ser : "Si la manzana es roja entonces está madura". Las reglas incondicionales no se discuten, por ejemplo : "Haz la tarea".

La forma común de las reglas es la condicional, es decir que consiste en una condición (Si - cláusula) y en una conclusión (entonces - cláusula). La cláusula condicional puede consistir en una o más condiciones ligadas entre sí por una conjunción como 'y' u 'o'.

Al cómputo de las reglas difusas se le conoce como inferencia de las reglas difusas.

La inferencia es un cálculo que consiste en dos pasos principales : agregación y composición.

El primer paso de la inferencia , la agregación, determina el grado para el cual la regla completa (Si - cláusula) es satisfecha y con

²⁶ Ibidem

²⁷ Variable lingüística : Lo que traduce un valor real en un valor lingüístico, p.e. La temperatura ambiente de 25°C se puede describir como "está templado".

este propósito se usan operadores para determinar los grados de validez de varias condiciones, por ejemplo :

Si la distancia es media y la velocidad es media entonces la potencia debe ser media.

En otros términos :

```
IF "dis" = media AND "vel" = media THEN "Po" = media.
```

En este ejemplo se tienen 2 condiciones, por lo que se debe observar el grado de validez o el valor de la función de membresía, de cada condición. Suponiendo que para "dis" = media el grado de validez sea de 0.8 y para "vel" = media el grado de validez sea de 0.5 ; la conjunción AND representa el mínimo operador es decir 'MIN', lo que da como resultado que el grado de validez de la condición sea el valor mínimo de las funciones de membresía de las condiciones, que en este caso es de 0.5.

Después el segundo paso del cálculo es la composición, la cual usa la validez de las condiciones para determinar el grado de validez de la conclusión. Sólo que en este caso se emplea el valor máximo de todas las condiciones para una conclusión. Por ejemplo, después de evaluar todas las reglas se observa que para la potencia media existen diferentes grados de validez, se tomará el grado de validez mayor.

Es decir lo que se esta realizando es la aplicación del método MAX-Min.

Otra forma de crear las reglas es por medio de un mapa al cual se le conoce como Mapa de Asociación Difusa o Fuzzy Associative Map (FAM)²⁸.

El uso de estos mapas facilita la creación de reglas de manera que se pueden simplificar para no caer en redundancias ni en reglas de nula ocurrencia, lo cual provocaría pérdida de tiempo o inestabilidad al no considerar algún caso.

Una vez seleccionado el conjunto de reglas lo que procede es la desdifusión.

DESDIFUSION

Como resultado del conjunto de reglas se obtiene para cada conjunto de salida un grado de verdad, es decir que tenemos un resultado difuso. Pero así no puede trabajar un microprocesador, por esto se debe convertir el resultado difuso a un resultado 'crisp'. A este proceso se le llama desdifusión.

Como cada conjunto de salida tiene un grado de verdad lo lógico sería tomar un promedio de los conjuntos y obtener un sólo valor.

Ahora bien, para evaluar el promedio de los conjuntos existen varios métodos como son :

1.- Principio del máximo : $X^* = \text{MAX } \mu(x_i)$

2.- Centroide : $x^* = \frac{\int \mu(x)x \, dx}{\int \mu(x) \, dx}$

3.- Promedio pesado : $X^* = \frac{\sum \mu(x)\bar{x}}{\sum \mu(x)}$

4.- Promedio de máximos (aplicable a formas tipo sierra) :

$$X^* = \frac{a+b}{2} ; \mu(a) \text{ y } \mu(b) \text{ en max}$$

5.- Centro de sumas : $X^* = \frac{\int_X \bar{x} \sum_{i=1}^k \mu(x) \, dx}{\int_X \sum_{i=1}^k \mu(x) \, dx}$

6.- Centro del área mayor : $\frac{\int \mu(x) x \, dx}{\int \mu(x) \, dx}$

7.- Singleton : $X^* = \frac{\sum \mu(x_i) x_i}{\sum \mu(x_i)}$

De estos métodos los más usados son el centroide, el centro del área mayor y singleton.

Ejemplo :

En un determinado momento se obtuvo lo siguiente en los conjuntos de salida después de evaluar las reglas :

$$P_o = 0.1$$

$$P_m = 0.6$$

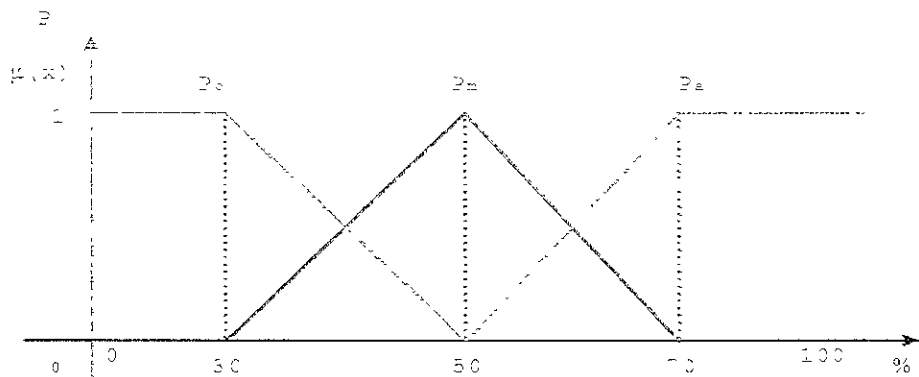
$$P_a = 0.2$$

donde : P_o = Potencia cerc

P_m = Potencia media

P_a = Potencia alta

Y los conjuntos de salida son :



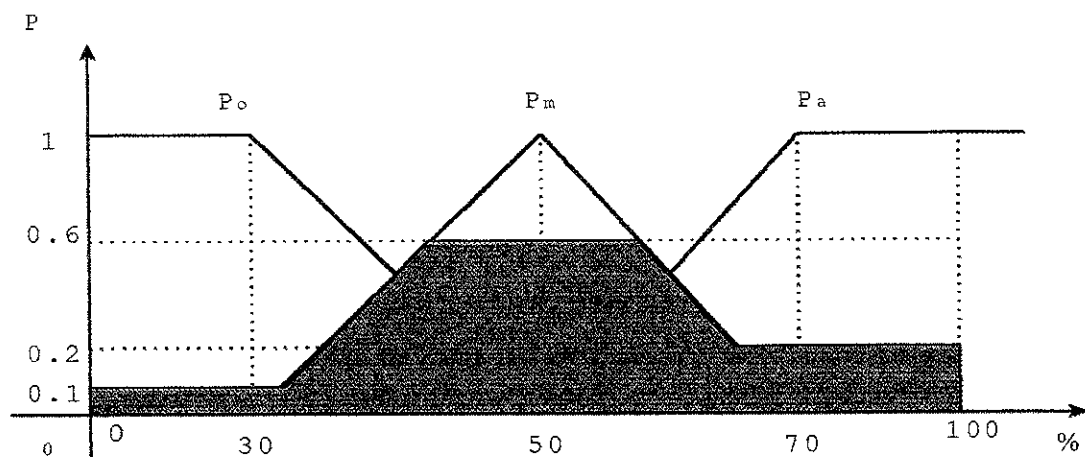
Cuyas ecuaciones son :

$$P_o = \begin{cases} 1 & ; 0 \leq x \leq 30 \\ 25 - 0.05x & ; 30 < x \leq 50 \end{cases}$$

$$P_m = \begin{cases} -15 + 0.05x & ; 30 \leq x \leq 50 \\ 35 - 0.05x & ; 50 < x \leq 70 \end{cases}$$

$$P_a = \begin{cases} 1 & ; 70 \geq x \\ -2.5 + 0.05x & ; 50 \leq x < 70 \end{cases}$$

Gráficamente se determina que el conjunto difuso de salida es :



La solución por el método del centroide :

$$X^* = \frac{\int_0^{32} 0.1x \, dx + \int_{32}^{42} (-1.5 + 0.05x)x \, dx + \int_{42}^{58} 0.6x \, dx + \int_{58}^{66} (3.5 - 0.05x)x \, dx + \int_{66}^{100} 0.2x \, dx}{\int_0^{32} 0.1 \, dx + \int_{32}^{42} (-1.5 + 0.05x) \, dx + \int_{42}^{58} 0.6 \, dx + \int_{58}^{66} (3.5 - 0.05x) \, dx + \int_{66}^{100} 0.2 \, dx}$$

$$X^* = 54.2027$$

Por el método del centro del área mayor :

$$X^* = \frac{\int_{30}^{42} (-1.5 + 0.05x)x \, dx + \int_{42}^{58} 0.6x \, dx + \int_{58}^{66} (3.5 - 0.05x)x \, dx}{\int_{30}^{42} (-1.5 + 0.05x) \, dx + \int_{42}^{58} 0.6 \, dx + \int_{58}^{66} (3.5 - 0.05x) \, dx}$$

$$X^* = 49.5772$$

Por Singleton :

$$X^* = \frac{(0.1)(20) + (0.5)(50) + (0.2)(80)}{(0.1) + (0.5) + (0.2)}$$

$$X^* = 53.33333$$

El resultado final ya sea potencia, tiempo o lo que fuere se emplea para activar los dispositivos que actúan sobre el sistema.

SISTEMA A DISEÑAR

De esta forma se decide que el mejor controlador para el sistema a diseñar en la presente tesis es el proporcional - diferencial.

El control proporcional servirá para alimentar al sistema con el adecuado gasto de aire y a disminuir el error entre la altura objetivo y la del émbolo. Y el diferencial porque se requiere saber hacia dónde se da el cambio de posición y de esta forma se puede determinar más rápidamente la acción que debe tomarse.

El diagrama de control a bloques del sistema es el siguiente :

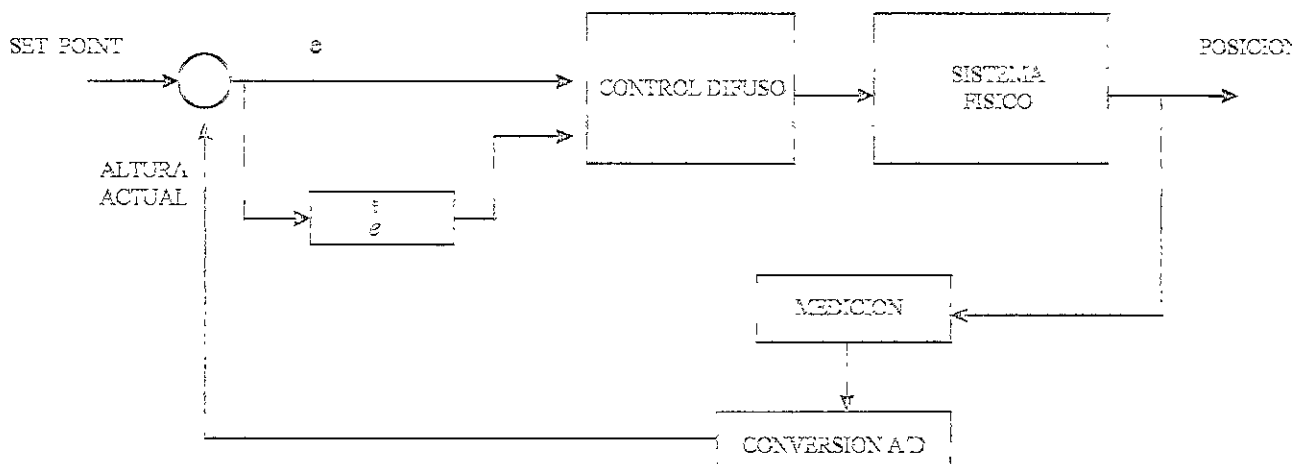


Figura 3.8 diagrama del sistema.

La señal "set point" es la altura a la cual se quiere llegar, esta se compara con la altura actual lo que genera una señal de error (e).

De la señal de error se obtiene su derivada con respecto al tiempo (\dot{e}), y las dos señales se procesan en el control difuso. La señal de salida del control difuso actúa en el sistema físico obteniendo así una posición. Se realiza la medición correspondiente a la altura del émbolo y luego se convierte la señal analógica en una señal digital, volviendo al punto de comparación.

En este caso se utilizará el método de intuición, luego si se requiere se pueden modificar los conjuntos para realizar un mejor control.

Los universos de discurso para el sistema son:

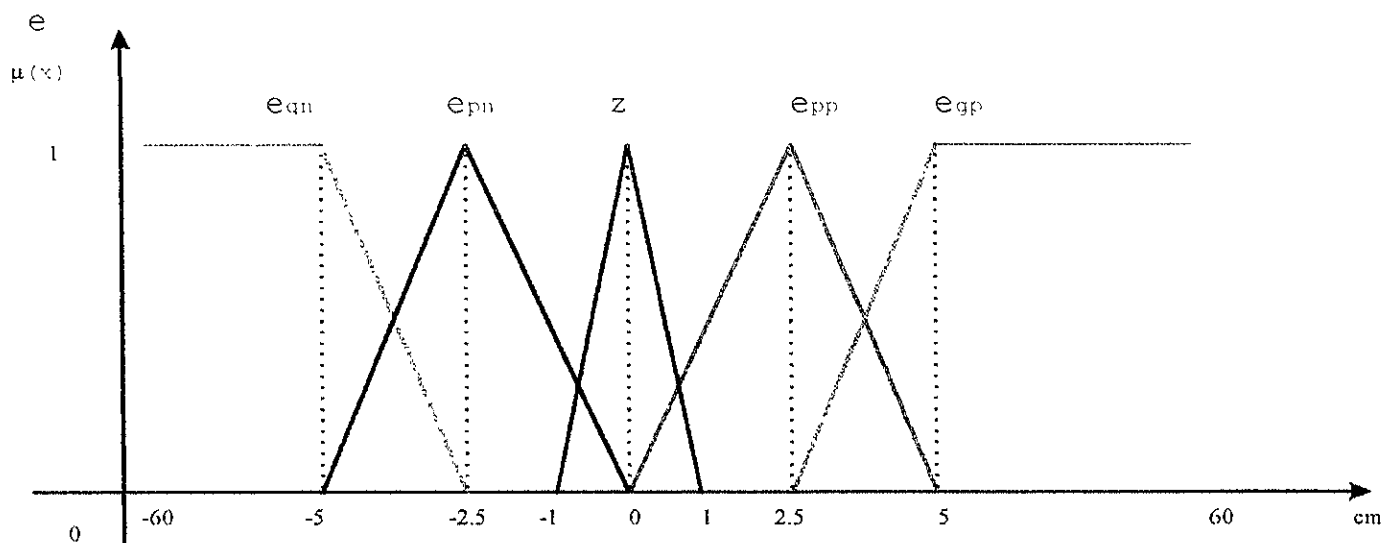


Figura 3.9 Conjuntos difusos del error

	e	egn	epn	ez	epc	egp
e						
X		Px	Px	Px	Px	
Z		Px	Px	Px	Px	
P				Px	Px	Px

Figura 3.13 Mapa de reglas para la potencia media

	e	egn	epn	ez	epc	egp
e						
X				PA	PA	PA
Z				PA	PA	PA
P					PA	PA

Figura 3.14 Mapa de reglas para la potencia alta

En los mapas se observan casillas vacías, estas representan las reglas que no se activan nunca o que no van a ocurrir.

Con esto las reglas se reducen de 45 a 26 y se gana memoria y menor tiempo de cómputo.

Así el conjunto de reglas es el siguiente :

- 1.- IF egn and $\dot{e}N$ then Pz
- 2.- IF egn and $\dot{e}Z$ then Pz
- 3.- IF egn and $\dot{e}P$ then Pz
- 4.- IF epn and $\dot{e}N$ then Pz
- 5.- IF epn and $\dot{e}Z$ then Pz
- 6.- IF epn and $\dot{e}P$ then Pz
- 7.- IF ez and $\dot{e}Z$ then Pz
- 8.- IF ez and $\dot{e}P$ then Pz

- 9.- IF egn and $\dot{e}N$ then Pm
- 10.- IF egn and $\dot{e}Z$ then Pm
- 11.- IF epn and $\dot{e}N$ then Pm
- 12.- IF epn and $\dot{e}Z$ then Pm
- 13.- IF ez and $\dot{e}N$ then Pm
- 14.- IF ez and $\dot{e}Z$ then Pm
- 15.- IF ez and $\dot{e}P$ then Pm
- 16.- IF epp and $\dot{e}N$ then Pm
- 17.- IF epp and $\dot{e}Z$ then Pm

18.- IF e_{pp} and \dot{e}_P then P_m

19.- IF e_{pp} and \dot{e}_P then P_m

20.- IF e_z and \dot{e}_N then P_a

21.- IF e_z and \dot{e}_Z then P_a

22.- IF e_{pp} and \dot{e}_N then P_a

23.- IF e_{pp} and \dot{e}_Z then P_a

24.- IF e_{pp} and \dot{e}_N then P_a

25.- IF e_{pp} and \dot{e}_Z then P_a

26.- IF e_{pp} and \dot{e}_P then P_a

Ahora bien para la desdifusión se empleará el método de Singleton, ya que tanto los métodos de centroide y centro del área mayor requieren de más programación y por tanto se extiende el tiempo de cómputo.

CAPITULO 4

PROGRAMACIÓN

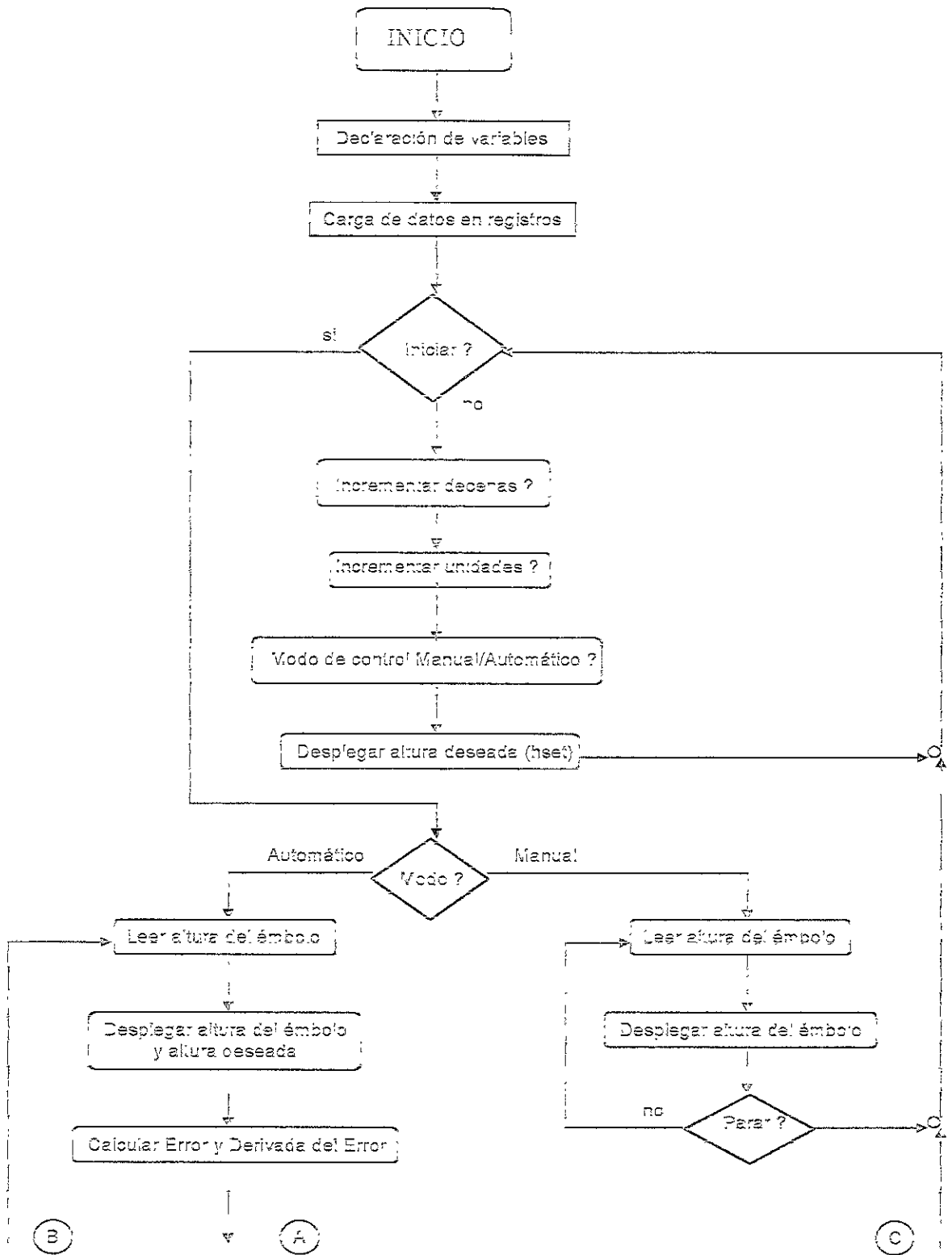
En este capítulo se plantea la programación del microprocesador.

El diagrama de flujo de la figura 4.1 ayuda a entender el desarrollo del programa así como su ejecución.

El microprocesador que se va a utilizar es el PIC 16C57 de la empresa Microchip. Este microprocesador es de tecnología tipo RISC.

Esta tecnología tiene como característica que posee un número reducido de instrucciones, lo que representa una ventaja y una desventaja. La ventaja es que al ser pocas instrucciones se pueden aprender más rápidamente, el tiempo de ejecución de las operaciones es de uno a dos ciclos dependiendo de la complejidad de la instrucción lo que representa una mayor velocidad para tareas simples. Esto es bueno para programas que no requieren mayor grado de complejidad, ya que para realizar operaciones con un número considerable de instrucciones se necesita mayor tiempo lo que puede llegar a volver lenta la ejecución del programa.

En el apéndice B se encuentran las hojas de especificaciones del microprocesador; estas contienen las instrucciones de programación, el espacio y tipo de memoria disponible y las características físicas y eléctricas del mismo.



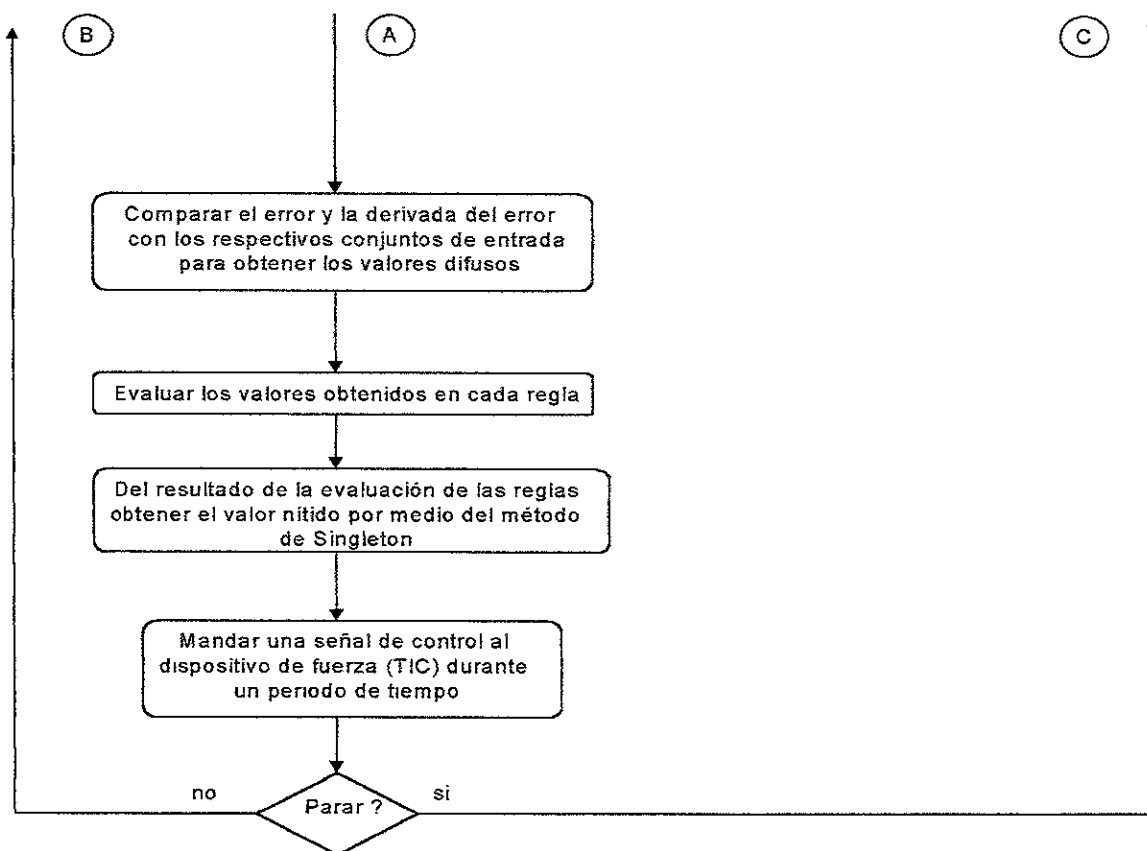


Figura 4.1 Diagrama de flujo del programa para el microprocesador
pic16C57

El cuadro de *Declaración de variables* se refiere a que en un principio cuando se enciende el microprocesador se debe declarar todas las variables que van a intervenir durante el programa, tales como pnemónicos y nombres de algunos registros especiales.

Lo siguiente es entonces cargar algunos registros con constantes numéricas que serán utilizadas en operaciones dentro del programa.

En seguida el programa espera una respuesta del usuario sobre si debe iniciar la ejecución del programa o si se desea cambiar o agregar algún dato.

De esta forma si no se da inicio a la ejecución del programa, se entra en una subrutina donde el micro espera el ingreso de la información por medio del teclado, ya sea que se desee aumentar el valor de la altura en decenas o en unidades, o cambiar el modo de manual a automático.

El modo de cambio Manual/Automático se refiere a que se tiene la posibilidad de control manual, es decir que por medio de un potenciómetro el usuario puede elevar el émbolo a una altura que él desee.

El modo automático es el control electrónico donde el microprocesador eleva el émbolo a una altura dada por el usuario y con el control difuso contenido en el programa del microprocesador la altura debe mantenerse.

Una vez capturado el modo y la altura a la que se desea llegar, se despliega la información para que se pueda observar lo que se esta ingresando.

Al dar inicio la ejecución del programa lo primero que se debe conocer es el modo.

Si se encuentra en modo manual, el microprocesador únicamente hará la lectura de la altura del émbolo y la desplegará.

Si se encuentra en modo automático leerá la altura del émbolo y desplegará tanto la altura a la que se desea llegar como la altura del émbolo en ese instante.

Luego con estos datos calculará el error y su derivada mediante las siguientes fórmulas matemáticas:

$$e = h_{set} - h_{lec}$$

$$\dot{e} = e_t - e_{t-1}$$

donde:

e = error

\dot{e} = derivada del error

h_{set} = altura deseada

h_{lec} = altura del émbolo

e_t = error actual

e_{t-1} = error anterior

Una vez hecho esto comienza a comparar el error con los conjuntos difusos del error para obtener así los valores difusos (pueden ser más de uno), lo mismo sucede con la derivada del error.

Con valores difusos se evalúan las reglas con las que se obtienen los valores de potencia, para obtener el resultado único que significará el grado en donde se debe disparar el TIC, se deben evaluar los resultados obtenidos por medio del método de Singleton (desdifusión).

La señal es mandada por un periodo de tiempo para que el sistema físico alcance a responder.

Después de mandar la señal al TIC, el programa pregunta si debe parar, si no se responde entonces vuelve a leer la altura actual del émbolo y comienza de nuevo el proceso.

PSEUDOCÓDIGO

El pseudocódigo del programa es el siguiente:

- Declaración del tipo de microprocesador
- Declaración de pemónicos, variables y registros
- Borrar registros de cuenta
- Definir el puerto C como puerto de salida
- Definir el puerto A como puerto de dos entradas y dos salidas
- Declarar el error en t-1 igual a cero
- Cargar los registros con las constantes 10, 2, 20 y 1
- Habilitar el display y el PAD mandando una señal que active los buffers correspondientes
- Definir el puerto B como puerto de 4 entradas y 4 salidas
- Cargar los displays con ceros
- Mandar una señal de control para habilitar al ADC y que éste comience a operar
- Ir a subrutina para verificar el PAD
- En la subrutina del PAD verificar si se ha accionado el botón de inicio
- Si no es así verificar si se ha accionado el botón de incremento de decenas
- Si se accionó entonces incrementar las decenas y verificar que no sobrepase la cuenta de 5, de ser así entonces volver a cero las decenas
- Verificar si se ha accionado el botón de incremento de unidades,
- De ser accionado incrementar la cuenta de unidades, si sobre pasa de 9 entonces volver a cero las unidades.

- Verificar si se ha accionado el botón de manual automático (por default estará en automático)
- Si se accionó entonces cambiar a modo manual
- Cargar el display con el dato de la altura deseada
- Regresar a ver si se ha accionado el botón de inicio
- Si se acciona el botón de inicio entonces definir al puerto B como entrada
- Mandar una señal de control para deshabilitar el PAD y los displays (el dato de la altura deseada se queda almacenada en una memoria)
- Leer del convertidor analógico digital a través del puerto B , la altura actual del émbolo
- Convertir el dato hexadecimal de la altura a decimal.
- Habilitar los displays
- Enviar la información de la altura al display correspondiente.
- Enviar la información de la altura deseada al otro display
- Deshabilitar los displays
- Si se encuentra en modo "manual" entonces verificar si se accionó el botón de "paro" de lo contrario volver a leer la altura
- Si se encuentra en modo "automático" entonces ir a la subrutina de "control"
- En la subrutina de control borrar los registros de los errores y derivadas del error además del registro del signo.
- Obtener el error haciendo la resta de hset - hlec
- Verificar si el resultado es positivo
- De lo contrario poner un '1' en el registro del signo
- Obtener la derivada del error
- Guardar el registro del error actual para que pase a ser el error anterior
- Comparar el error con las ecuaciones de los conjuntos de entrada para obtener los valores difusos
- Una vez obtenidos los valores difusos hacer la evaluación de las reglas
- Con los valores obtenidos realizar la desdifusión por Singleton para obtener P_o
- Con este resultado detectar el inicio del ciclo de la señal proveniente de la Cía. de Luz
- Mandar la señal de dispar hacia el TIC cuando hayan pasado P_o grados
- Detectar el período negativo de la señal y volver a dispara el TIC a P_o grados
- Hacer esto por lo menos durante 10 ciclos de la señal de Cía de Luz para que el sistema físico logre reaccionar
- Revisar si se ha accionado el botón de "Paro"
- Si no se ha accionado regresar a leer la altura del émbolo.
- Si se accionó entonces habilitar de nuevo el PAD y los displays y regresar a la subrutina del PAD

Y de esta forma se obtiene el código.


```

pm11      set    52
pa1       set    53
pa2       set    54
pa3       set    55
pa4       set    56
pa5       set    57
pa6       set    58
pa7       set    59
pzf       set    5a
pmf       set    5b
paf       set    5c
s1        set    5d
s2        set    5e
po        set    5f

reg1      set    70    ; bank3
reg2      set    71
reg4      set    72
reg5      set    73

org 80
clrw
clrf contm
tris portc ;puerto c definido como salida
movlw 0x0a
tris porta ; puerto a como 3a y 1a IN 2a y 0a OUT
inic      clrf    err1_c    ; en primer error en t-1 es cero
          bsf    fsr,5
          bsf    fsr,6
movlw 0x0a
movwf reg1 ; registro del #10
movlw 0x02
movwf reg2 ; registro del #2
          movlw 0x14
movwf reg4 ; registro del #20
movlw 0x01
movwf reg5 ; registro del #1
          bcf    fsr,5
          bcf    fsr,6
          clrf   portc
bcf porta,0 ; habilita el display y PAD
movlw 0x0f
tris portb ; puerto b definido como (E/S)
bsf portb,7 ; carga el display 1 con un cero
bsf portb,6 ; carga el display 2 con un cero
bsf portb,4 ; habilita al adc
call ret1
bcf portb,7
bcf portb,6
bcf portb,4
call PAD ; verifica el PAD
tris portb ; puerto b definido como (E)
lec      movf portb,0 ; comienza la lectura del puerto b
          bsf    status,5
          goto  tabla

```

```

lec2    movf    hlec,0
        movwf   portc    ; traslada la lec al puerto c
bcf     porta,0    ; habilita el display
movlw  0x0f
tris   portb ; puerto b definido como (E/S)
bcf     portb,5    ; coloca un cero en el relay
bsf     portb,6    ; carga el display 2
nop
nop
nop
bcf     portb,6
movf    hset,0    ; traslada la altura al puerto c
movwf   portc
bsf     portb,7    ; carga el display 1
nop
nop
nop
bcf     portb,7
movlw  0xff
tris   portb ; puerto b definido como (E)
bsf     porta,0    ; deshabilita el display
goto   control
inic3   btfss   porta,1    ; lec del puerto a (st/st)
        goto   lec    ; si no se presiona el boton, vuelve a leer
        call   reti
        btfss   porta,1
        goto   lec
ret3    movlw  0x50
        movwf   cont2
aqui4   decfsz   cont2,1
        goto   aqui4
        btfsc   porta,1    ; sigue cuando se suelta el boton
        goto   ret3
        goto   inic    ; regresa al principio

        ;***** Rutina de RETARDO *****
ret1    movlw  0x32    ; retardo de 50 us
        movwf   cont1
aqui    decfsz   cont1,1
        goto   aqui
        retlw  0

multi   clrf    resul_mul    ; ***** subrutina de multiplicación
        movf    z,0
        movwf   cont1
        decf    cont1
        movf    k,0
nxt1    addwf   k,0
        decfsz   cont1,1
        goto   nxt1
        movwf   resul_mul
        retlw  0x00
        ; ***** subrutina de división
divsn   clrf    resul_div    ; x / y = resul_div
        movlw  0xff
        andwf   y,0

```

```

        btfss status,2
        goto div
        retlw 0x00
div     movf y,0
nxt2   subwf x,1
        btfss status,0
        retlw 0x00
        incf resul_div,1
        goto nxt2
        ;***** Rutina para el PAD *****
PAD     movlw 0x50 ; ciclo de retardo
        movwf cont2
aqui1  decfsz cont2,1
        goto aqui1
        btfss porta,1 ; lec del puerto a (st/st)
        goto dec
inic2  movlw 0x50
        movwf cont2
aqui2  decfsz cont2,1
        goto aqui2
        btfsc porta,1 ; sigue cuando se suelta el boton
        goto inic2
        retlw 0xff ; regresa al main
dec    btfss portb,0 ; lec del puerto b (decenas)
        goto uni
aqui7  movlw 0x50
        movwf cont2
aqui8  decfsz cont2,1
        goto aqui8
        btfsc portb,0
        goto aqui7
        movlw 0x10
        addwf hset,1
        btfss hset,6 ; prueba si hay un '0100----'
        goto uni
        btfss hset,4 ; prueba si hay un '0101----'
        goto dec2 ; si lo hay, borra los bits del 0 al 3
        bcf hset,0 ; del hset
        bcf hset,1
        bcf hset,2
        bcf hset,3
dec2   btfss hset,5 ; prueba si hay un '0110----'
        goto uni
        bcf hset,6
        bcf hset,5
uni    btfss portb,1 ; lec puerto b (unidades)
        goto mani5
aqui9  movlw 0x50
        movwf cont2
aqui10 decfsz cont2,1
        goto aqui10
        btfsc portb,1
        goto aqui9
        incf hset,1 ; incrementa las unidades
        btfss hset,3
        goto mani5

```

```

        btfss hset,1      ; si es mayor a 9, regresa a 0
        goto mani5
        bcf hset,1
        bcf hset,3
        ; **** ciclo de manual/automatico
mani5 btfss portb,2      ; lec puerto b (manual/automatico)
        goto dsp
aqui11 movlw 0x50
        movwf cont2
aqui12 decfsz cont2,1
        goto aqui12
        btfsc portb,2
        goto aqui11
        bsf portb,5
        call ret1
        bcf portb,5
        movlw 0x01
        andwf contm,1
        btfsc contm,0
        goto mani1
        bsf contm,0
        goto dsp
mani1 bcf contm,0
dsp movf hset,0          ; traslada la altura al puerto c
        movwf portc
        bsf portb,7      ; carga el display 1
        nop
        nop
        nop
        bcf portb,7
        goto PAD
control
        clrf ez_f
        clrf epp_f
        clrf epn_f
        clrf egp_f
        clrf egn_f
        clrf dez_f
        clrf dep_f
        clrf den_f
        clrf signo
        movf hset,0      ;
        subwf hlec,0     ; obtención del error (e = hset - hlec)
        btfsc status,0 ; prueba si el resultado es positivo
        goto posit1
        movf hlec,0
        subwf hset,0
        bsf signo,0
posit1 movwf err0_c
        movf err1_c,0
        subwf err0_c,0 ; obtención de la derr (de = e(t) - e(t-1))
        btfsc status,0
        goto posit2
        movf err0_c,0
        subwf err1_c
        bsf signo,1

```

```

posit2      movwf derr_c
            movf  err0_c,0
            movwf err1_c      ; el error e(t) es ahora e(t-1)

            ;***** subrutina de difusión del error *****
dif_er      movlw  0x05
            subwf  err0_c,0
            btfss status,0    ; es x >= 5 ?
            goto  comp1      ; si no lo es va a comp1
            movlw  0x0a      ; en el caso de que sea mayor o igual 5
            btfsc signo,0
            goto  here4      ; entonces el error es grande y es igual
            movwf  epp_f     ; a 10
            goto  dif_der
here4      movwf  egn_f
            goto  dif_der
comp1      movf  err0_c,0
            bsf  fsr,6
            bsf  fsr,5
            subwf reg1,0      ; obtención del error difuso en cero
            bcf  fsr,6
            bcf  fsr,5
            btfss status,0
            goto  comp2
            movwf  ez_f      ; obtención del error difuso en peque
comp2      movf  err0_c,0    ; x <= 25
            bsf  fsr,6
            bsf  fsr,5
            subwf reg2,0
            bcf  fsr,6
            bcf  fsr,5
            btfss status,0   ;pregunta si es <= 25
            goto  comp3      ; si es > se va a comp3
            movf  err0_c,0
            movwf  k          ; variables de multiplicación
            movlw 0x04      ; bank 0      ; 'k' y 'z'
            movwf  z
            call  multi      ; multiplica por 4
            movf  resul_mul,0
            btfsc signo,0    ; pregunta por la parte neg
            goto  here1
            movwf  epp_f
            goto  dif_der
here1      movwf  epn_f
            goto  dif_der
comp3      movf  err0_c,0
            movwf  k          ; variables de multiplicación
            movlw 0x04      ; 'k' y 'z'
            movwf  z
            call  multi      ; multiplica por 4
            movf  resul_mul,0
            bsf  fsr,6
            bsf  fsr,5
            subwf reg4,0      ; a 20 se le resta el resultado
            bcf  fsr,5
            bcf  fsr,5

```

```

    btfsc signo,0
    goto here2
    movwf epp_f
    goto comp4 ; como esta dentro del mismo rango
here2 movwf epn_f ; se sigue procediendo
comp4 movlw 0x10 ; al resultado de la multipli (4*err)
    subwf resul_mul,0 ; se le resta 10
    btfsc signo,0
    goto here3
    movwf egp_f
    goto dif_der
here3 movwf egn_f

; ***** subrutina de difusión de la derivada del error
dif_der movf derr_c,0
    bsf fsr,6
    bsf fsr,5
    subwf reg5,0
    bcf fsr,6
    bcf fsr,5
    btfss status,0
    goto comp7
    movf derr_c,0
    movwf k ; variables de multiplicación
    movlw 0x0a ; 'k' y 'z'
    movwf z
    call multi
    movf resul_mul
    bsf fsr,6
    bsf fsr,5
    subwf reg1,0 ; a 10 se le resta el resultado
    bcf fsr,6
    bcf fsr,5
    movwf dez_f
    goto reglas
here5 movwf den_f
    goto reglas
comp7 movlw 0x0a
    btfsc signo,1
    goto here6
    movwf dep_f
    goto reglas
here6 movwf den_f
; ***** evaluación de reglas *****
reglas movf egn_f,0 ; se evalúan las reglas
    andwf den_f,0 ; y los resultados se almacenan
    bsf fsr,5
    movwf pz1 ; en los registros de pz, pm y pa
    bcf fsr,5
    movf egn_f,0
    andwf dez_f,0
    bsf fsr,5
    movwf pz2
    bcf fsr,5
    movf egn_f,0
    andwf dep_f,0

```



```
    bsf     fsr,5
movwf pz3
    bcf     fsr,5
movf  epn_f,0
andwf den_f,0
    bsf     fsr,5
movwf pz4
    bcf     fsr,5
movf  epn_f,0
andwf dez_f,0
    bsf     fsr,5
movwf pz5
    bcf     fsr,5
movf  epn_f,0
andwf dep_f,0
    bsf     fsr,5
movwf pz6
    bcf     fsr,5
movf  ez_f,0
andwf dez_f,0
    bsf     fsr,5
movwf pz7
    bcf     fsr,5
movf  ez_f,0
andwf dep_f,0
    bsf     fsr,5
movwf pz8
    bcf     fsr,5
movf  egn_f,0
andwf den_f,0
    bsf     fsr,5
movwf pm1
    bcf     fsr,5
movf  egn_f,0
andwf dez_f,0
    bsf     fsr,5
movwf pm2
    bcf     fsr,5
movf  epn_f,0
andwf den_f,0
    bsf     fsr,5
movwf pm3
    bcf     fsr,5
movf  epn_f,0
andwf dez_f,0
    bsf     fsr,5
movwf pm4
    bcf     fsr,5
movf  ez_f,0
andwf den_f,0
    bsf     fsr,5
movwf pm5
    bcf     fsr,5
movf  ez_f,0
andwf dez_f,0
    bsf     fsr,5
```

```
movwf pm6
  bcf    fsr,5
movf ez_f,0
andwf dep_f,0
  bsf    fsr,5
movwf pm7
  bcf    fsr,5
movf epp_f,0
andwf den_f,0
  bsf    fsr,5
movwf pm8
  bcf    fsr,5
movf epp_f,0
andwf dez_f,0
  bsf    fsr,6
movwf pm9
  bcf    fsr,6
movf epp_f,0
andwf dep_f,0
  bsf    fsr,6
movwf pm10
  bcf    fsr,6
movf epp_f,0
andwf dep_f,0
  bsf    fsr,6
movwf pm11
  bcf    fsr,6
movf ez_f,0
andwf den_f,0
  bsf    fsr,6
movwf pa1
  bcf    fsr,6 ; cambio de página
movf ez_f,0
andwf dez_f,0
  bsf    fsr,6
movwf pa2
  bcf    fsr,6
movf epp_f,0
andwf den_f,0
  bsf    fsr,6
movwf pa3
  bcf    fsr,6
movf epp_f,0
andwf dez_f,0
  bsf    fsr,6
movwf pa4
  bcf    fsr,6
movf epp_f,0
andwf den_f,0
  bsf    fsr,6
movwf pa5
  bcf    fsr,6
movf epp_f,0
andwf dez_f,0
  bsf    fsr,6
movwf pa6
```

```

    bcf     fsr,6
movf  egp_f,0
andwf dep_f,0
    bsf     fsr,6
movwf pa7      ; fin de la evaluación por and's
    bcf     fsr,6
    bsf     fsr,5
movf  pzl      ; ahora se evalúan por medio de
iorwf pz2,0    ; 'or' para encontrar pzf,pmf y paf
iorwf pz3,0
iorwf pz4,0
iorwf pz5,0
iorwf pz6,0    ;el método utilizado es el de MAX-min
iorwf pz7,0
iorwf pz8,0
    bcf     fsr,5
    bsf     fsr,6
movwf pzf      ;obtención del primer
    bcf     fsr,6
    bsf     fsr,5
movf  pml,0    ; resultado
iorwf pm2,0
iorwf pm3,0
iorwf pm4,0
iorwf pm5,0
iorwf pm6,0
iorwf pm7,0
iorwf pm8,0
    bcf     fsr,5
    bsf     fsr,6
iorwf pm9,0
iorwf pm10,0
iorwf pm11,0
movwf pmf      ; obtención del segundo
movf  pa1,0    ; resultado
iorwf pa2,0
iorwf pa3,0
iorwf pa4,0
iorwf pa5,0
iorwf pa6,0
iorwf pa7,0    ; obtención del tercer
movwf paf      ; resultado

    ; ***** desdifusión por singleton *****
bcf  status,5
bcf  status,6
movf pzf,0
    bcf     fsr,6
movwf k
movlw 0x0f      ; x=(pa*30+pm*90+pz*150)/(pa+pm+pz)
movwf z
call multi
movf resul_mul,0
    movwf  x
    movlw  0x0A
    movwf  y

```

```

    call    divsn
    movf   resul_div,0
    bsf    fsr,6
movwf s2
movf pmf,0
    bcf    fsr,6
movwf k
movlw 0x09
movwf z
call multi
movf resul_mul,0
    movwf  x
    movlw  0x0A
    movwf  y
    call   divsn
    movf   resul_div,0
    bsf    fsr,6
addwf s2,1
movf paf,0
    bcf    fsr,6
movwf k
movlw 0x03
movwf z
call multi
movf resul_mul,0
    movwf  x
    movlw  0x0A
    movwf  y
    call   divsn
    movf   resul_div,0
    bsf    fsr,6
addwf s2,1
movf pzf,0
addwf pmf,0
addwf paf,0
    bcf    fsr,6
    movwf  x
    movlw  0x0A
    movwf  y
    call   divsn
    movf   resul_div,0
    bsf    fsr,6
movwf s1
    bcf    fsr,6
movwf y
    bsf    fsr,6
movf s2,0
    bcf    fsr,6
movwf x
call divsn
movf resul_div,0
movwf k
movlw 0x0a
movwf z
call multi
movf resul_mul,0

```

```

        bsf      fsr,6
movwf po
        bcf      fsr,6
        movwf   cont2
movlw 0x0a
movwf cont3
        bsf      status,5
detecl      btfsc   porta,3
            goto   detecl
detec2      btfss   porta,3
            goto   detec2
aqui15      call    retar2
            decfsz cont2,1
            goto   aqui15
            bsf      porta,2
            nop
            nop
            movf    resul_mul,0
            movwf   cont2
            bcf      porta,2
detec3      btfsc   porta,3
            goto   detec3
aqui16      call    retar2
            decfsz cont2,1
            goto   aqui16
            bsf      porta,2
            nop
            nop
            nop
            nop
            bcf      porta,2
            decfsz   cont3,1
            goto   detecl
            bcf      status,5
            goto   inic3

; ***** ciclo de retardo de 1ø
retar2 movlw 0x56
        movwf   cont1
aqui14 decfsz cont1,1
        goto   aqui14
        retlw  0x00

; ***** rutina para conversión de la lec
tabla movwf hlec
        call    conver
        movwf   hlec
        btfsc   contm,0
        goto   mani2
        bcf      status,5
        goto   lec2
mani2   bcf      porta,0
        movlw   0x0f
        tris    portb
        bcf      portb,5
        bsf      portb,6

```

CAPITULO 5

DESARROLLO DEL SISTEMA

En el presente capítulo se plantea la construcción y diseño del sistema siguiendo el diagrama de bloques de la figura 5.1.

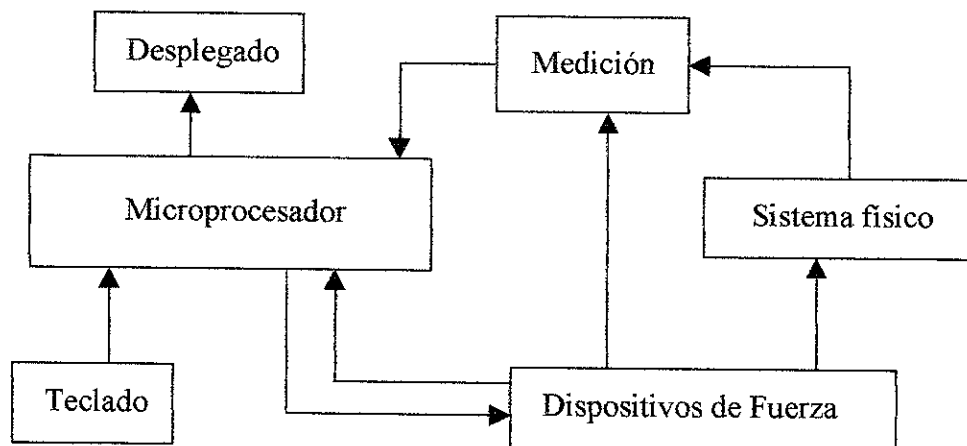


Figura 5.1 Diagrama eléctrico en bloques

Los diagramas eléctricos y los datos técnicos de los distintos componentes se contemplan en el apéndice A.

Sistema físico

Se compone de un tubo hecho de acrílico transparente para poder observar las variaciones de altura del émbolo. El émbolo es de plástico duro y ligero.

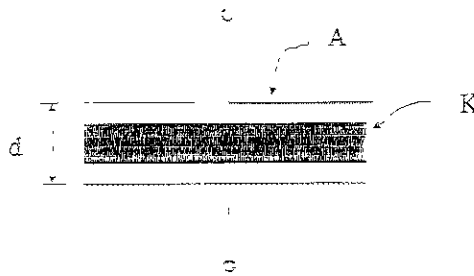
La base del tubo es del mismo material que el émbolo y se apoya en una plataforma de acrílico. En la base se encuentra un

orificio pequeño por donde ingresa el aire a través de una manguera de látex.

El aire es impulsado a través del tubo de acrílico y de la manguera de látex por medio de un motor eléctrico universal, el cual es controlado por los dispositivos de fuerza.

Medición

La técnica de medición de la altura se basa en el principio capacitivo, debido a que se puede realizar una medición en función del área de las placas que separe el dieléctrico, esto se explica dada la fórmula de la figura 5.2.



$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot K \cdot A}{d}$$

Figura 5.2 Capacitancia eléctrica en placas paralelas

donde :

ϵ_0 = constante dieléctrica = 8.85×10^{-12} F/m

K = constante dieléctrica del acrílico

A = área de las placas

d = distancia entre placas

Luego entonces el tubo de acrílico se forra con papel de aluminio y el émbolo se recubre con tintura de plata ya que, como se observa en la fórmula, el material con lo que están hechas las placas no interviene siempre y cuando sean conductores de la electricidad.

El forro de aluminio es cortado en trapecio para obtener una medición lineal en función de la altura (figura 5.3).

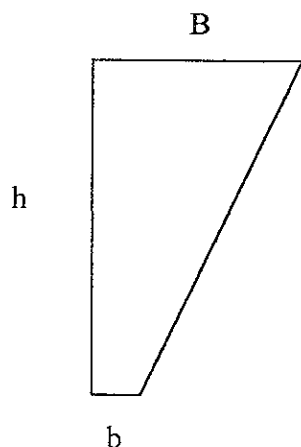
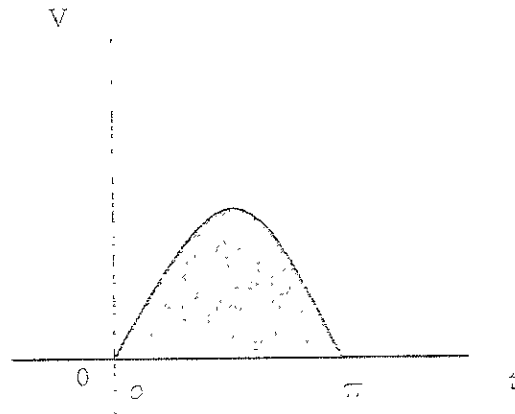


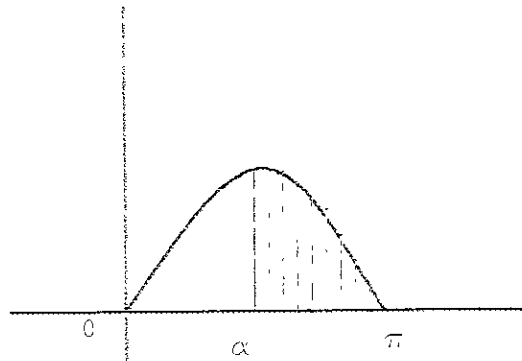
Figura 5.3 Corte Trapezoidal del aluminio

De este modo en la base del tubo se encuentra el área pequeña y por tanto el menor valor capacitivo y en la parte superior del tubo el área grande y en consecuencia la mayor capacitancia eléctrica.

El valor capacitivo se traduce en frecuencia, esto es por medio de un circuito resonante. La frecuencia de oscilación depende directamente tanto de un valor capacitivo como de una resistencia.



F.5.6.1 Potencia total, el ángulo de disparo α es igual a cero



F.5.6.2 Potencia menor, el ángulo de disparo α es diferente de cero

Figura 5.6 Diferentes potencias según el ángulo de disparo

Con esto se comienza a diseñar y calcular las diferentes etapas.

Sistema Físico.-

El tubo de acrílico se manda a hacer con las siguientes dimensiones:

Tubo

Largo:	70 cm
Diámetro interior:	5 cm
Diámetro exterior:	5.6 cm
Grosor del tubo:	0.3 cm

Base

Largo:	20 cm
Ancho:	15 cm

Base de plástico

Diámetro:	12 cm
Diámetro de acoplamiento:	5 cm
Diámetro del agujero:	0.32 cm (1/8'')

Émbolo de plástico

Diámetro:	4.9 cm
Altura:	2.5 cm
Espesor:	0.05 cm

Se fija además una llave para acoplar la manguera de látex con la base de plástico para evitar una fuga significativa de aire.

La manguera de látex se acopla a la salida del aire por medio de un acoplamiento de plástico.

El forro del tubo se hace con papel aluminio, que es un conductor de electricidad, el cual se corta en forma trapezoidal, con las siguientes dimensiones:

Base menor (b): 2.5 cm

Base mayor (B): 16 cm

Altura (h): 70 cm

Y el émbolo de plástico se pinta con tintura de plata la cual también es conductora de la electricidad.

Con esto se logra el efecto capacitivo que requerimos para la medición.

Si el émbolo se coloca del lado de la base menor tendrá menor capacitancia que cuando se encuentre situado del lado de la base mayor.

Dada la fórmula de la figura 5.2 se tiene:

$$\text{Si: } \epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$K = 5 \text{ (constante dieléctrica de la mica)}$$

$$A_{\text{min}} = b \times B = 2.5 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} = 7.5 \text{ cm}^2$$

$$d = 0.3 \text{ cm}$$

Entonces:

* Debería ser 2.5 cm, pero en realidad es un poco más por eso se considera este valor.

** Debería ser 2.5 cm, pero en realidad es un poco más por eso se considera este valor.

$$C_{mn} = \frac{\epsilon_0 \cdot K \cdot A}{d} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \cdot 5 \cdot 0.00075}{0.003}$$

$$C_{mn} = 11 [pF]$$

Para $A_{max} = 2.5 \text{ cm} \times 15.4 \text{ cm} = 38.5 \text{ cm}^2$

$$C_{max} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \cdot 5 \cdot 0.00385}{0.003}$$

$$C_{max} = 56.8 [pF]$$

Con esto obtenemos un rango de capacitancias que deben ser lineales. Es decir en proporción con la posición en la que se encuentre el émbolo.

Medición

Con el rango de capacitancias que se obtiene se procede a realizar el cálculo del oscilador para obtener un rango de frecuencias.

Para este propósito se empleara un circuito integrado, el LM555'. Este dispositivo puede funcionar como oscilador; la frecuencia de oscilación depende del valor de capacitancia y resistencia dada la fórmula 5.1 proporcionada por el fabricante:

$$f = \frac{1}{\ln(2) \cdot (Ra + 2 \cdot Rb) \cdot C}$$

Fórmula 5.1 Frecuencia dependiendo de la resistencia y capacitancia

Donde f : Frecuencia de oscilación

Ra y Rb : Resistencias

C : Capacitor

Y así:

directa y además va a invertir la señal, que en este caso lo único que ocasiona es un desfase de la señal que no tiene efecto alguno para este propósito.

Y así se tiene acondicionada la señal para ser ingresada al LM2907.

Convertida la frecuencia en voltaje, lo que sigue es acondicionar la señal para obtener la medición en un determinado rango de valores. En este caso el rango será entre 0 y 5 Vdc. Para lograr esto se hace el arreglo de amplificadores operacionales de la figura 5.8, en donde el primer amplificador operacional se configura como restador no - inversor. Con esto se ajusta el cero al nivel del potencial que representa la altura mínima. Enseguida el AmOp con configuración de amplificador no - inversor, proporcionará la amplificación requerida para ajustar el nivel de 5 Vdc cuando el émbolo se encuentre en la mayor altura.

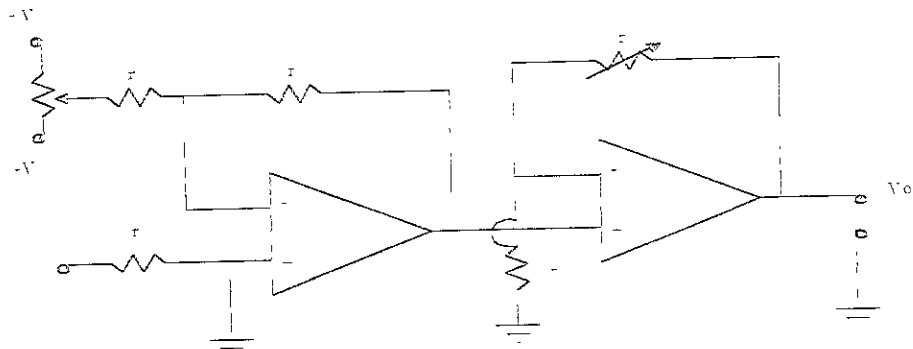


Figura 5.8 Amplificador de instrumentación

Conversión analógica-digital

Con la señal acondicionada en un rango definido entre 0 y 5 Vdc, se tiene que convertir ahora ese valor de potencial en una palabra de 8 bits para que pueda ser procesada la información por el microprocesador.

Con éste propósito se utiliza el circuito integrado ADC0804*, que tiene una sola entrada y una resolución de 8 bits. La configuración es del modo "free-running" lo cual significa que va a estar realizando conversiones constantemente.

La velocidad de muestreo o de conversión esta definido por los valores de capacitancia y resistencia en función de la tabla de especificaciones del ADC0804 del apéndice B.

De esta forma:

$$R= 5.6 \text{ k}\Omega$$

$$C= 47 \text{ }\mu\text{F}$$

Para una frecuencia de oscilación de 680 kHz.

Microprocesador

El microprocesador que se utiliza es el PIC16C57 de Microchip.

Este tiene como características físicas tres puertos de lectura/escritura: dos de 8 bits y uno de 4 bits, un Timer o contador y un Master clear o RESET.

Uno de los puertos de 8 bits se emplea para mandar la información a los displays, el otro se utiliza para la captura de los datos

provenientes del convertidor analógico digital y del teclado; el de 4 bits para el control y lectura de inicio/fin de la rutina. En el capítulo 4 se describe la programación con mayor detalle. La disposición de los puertos es la siguiente:

Puerto A

- Pin 6 (RA0) --- Señal de habilitación/inhabilitación de los buffers
- Pin 7 (RA1) --- Señal proveniente del teclado que indica el inicio/fin de la ejecución.
- Pin 8 (RA2) --- Señal de control hacia el dispositivo de fuerza
- Pin 9 (RA3) --- Señal de muestreo proveniente de la Cia. De Luz

Puerto B

Con los buffers inhabilitados:

- Pin 10 (RB1) --- Señal de incremento de decenas
- Pin 11 (RB1) --- Señal de incremento de unidades
- Pin 12 (RB2) --- Señal de acción manual o automática
- Pin 13 (RB3) --- Sin operación
- Pin 14 (RB4) --- Señal de salida para hacer funcionar el ADC por primera vez
- Pin 15 (RB5) --- Señal para accionar el RELAY para la acción manual o automática
- Pin 16 (RB6) --- Señal para cargar los registros del display 1
- Pin 17 (RB7) --- Señal para cargar los registros del display 2

Con los buffers habilitados:

- Señal proveniente del ADC

Puerto C

Pin's 18 a 25 --- Señal hacia los displays

Además se requiere de un circuito que detecte el cruce por cero. El circuito utilizado es también un AmOp, pero en configuración de comparador. Con el circuito de la figura 5.9 se obtiene una señal cuadrada en fase con la señal de la Cía. de Luz.

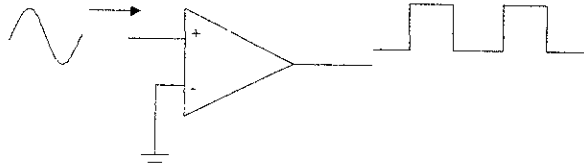


Figura 5.9 Amplificador operacional en modo comparador

Dispositivos de fuerza

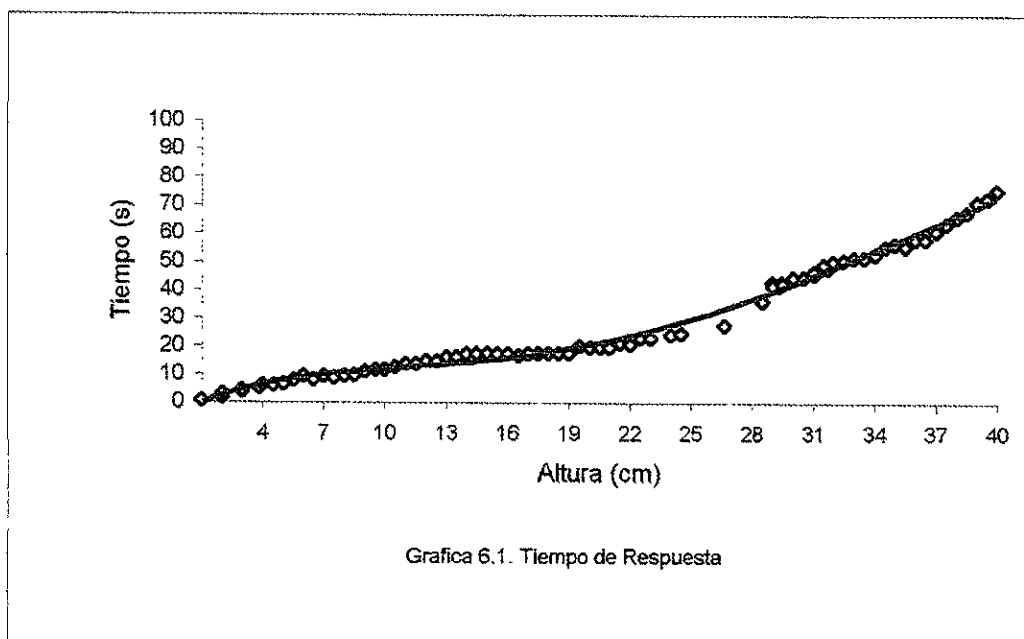
Los dispositivos de potencia requieren una señal de control proveniente del microprocesador. Cabe mencionar que es conveniente el aislamiento entre los circuitos de potencia y los circuitos lógicos, dado que de esta forma se protege la etapa lógica de alguna sobrecorriente o un sobrevoltaje que pudiera darse en la etapa de potencia; para tal efecto se utiliza el circuito integrado MOC 6120 el cual contiene un fotodiodo y un fototiristor, de tal forma que cuando circula corriente por el fotodiodo este emite una señal luminosa que activa el

CAPITULO 6

PRUEBAS Y CONCLUSIONES

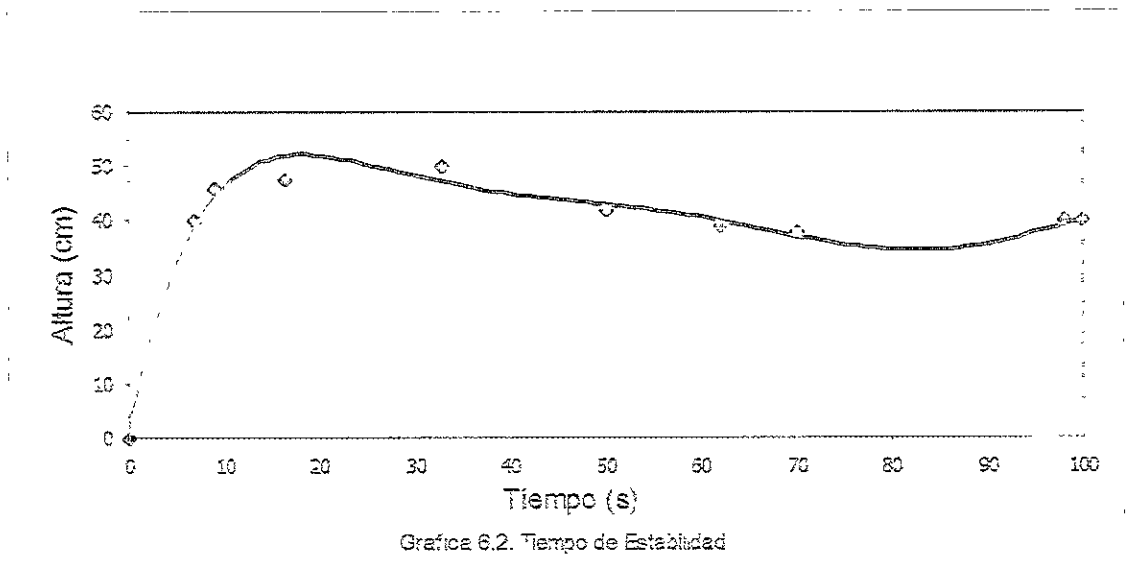
Una vez concluida la construcción mecánica y eléctrica del sistema, lo siguiente es realizar las pruebas para comprobar que el problema planteado ha sido resuelto satisfactoriamente.

Los resultados se muestran a continuación:

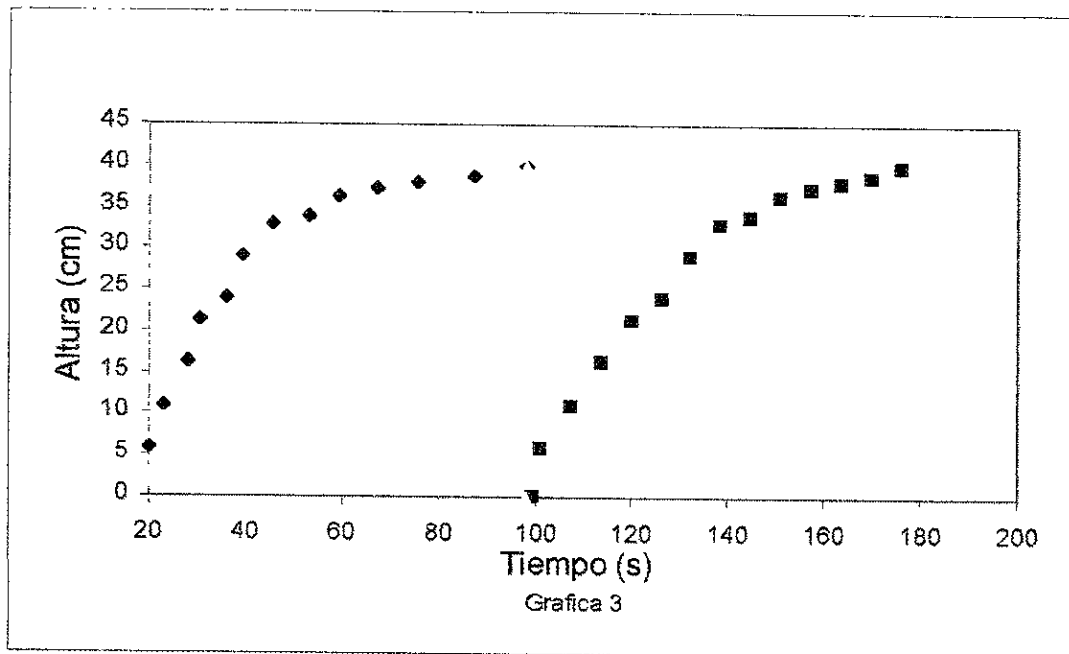


La gráfica 6.1 muestra el tiempo de respuesta Vs distintas alturas, sin perturbaciones; en ésta se observa que el tiempo para alcanzar la altura predeterminada varía en proporción a la altura, pero sin embargo alcanza el objetivo con un error de ± 1 centímetro.

El error se debe principalmente al tipo de medición que se lleva a cabo, dado que es de principio capacitivo, cualquier alteración de tipo ambiental afecta directamente al sensor provocando una lectura no muy precisa.



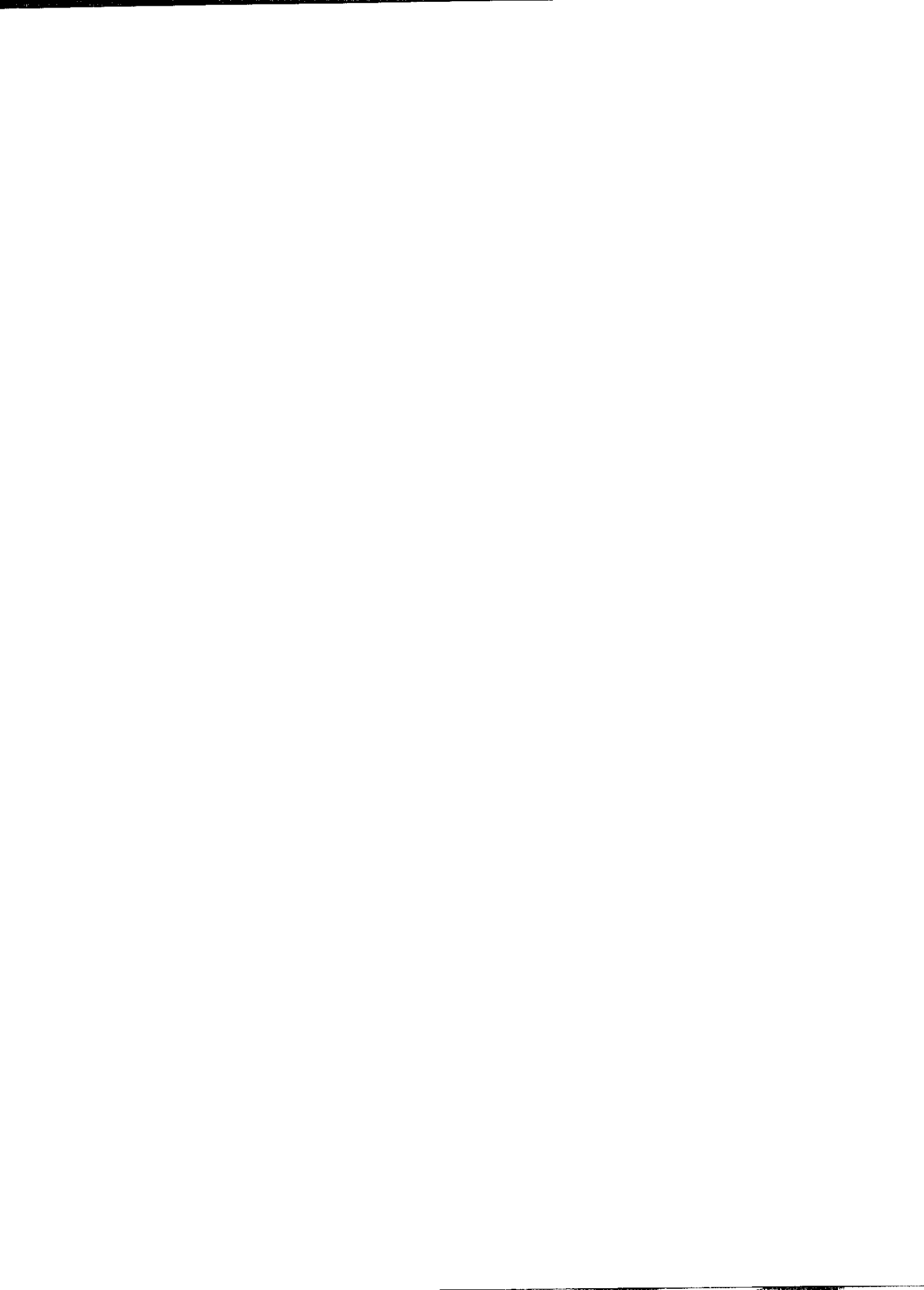
La gráfica 6.2 muestra el tiempo que permanece estable el émbolo en distintas alturas, sin perturbaciones. Una vez que alcanzó la altura predeterminada permanece en ella sin presentar variaciones significativas.



La gráfica 6.3 muestra el tiempo de respuesta Vs distintas alturas con perturbaciones. Es decir, una vez que alcanzó la altura objetivo se aplica un disturbio o perturbación al sistema. Ejemplos de disturbios:

- Interrupción de inyección de aire. (desconectando la manguera)
- Interrupción de energía eléctrica en el motor.
- Obstrucción de la salida de aire del tubo.

En esta etapa el tiempo de respuesta varía también dependiendo del tiempo que dura el disturbio, obteniendo como resultado que el tiempo máximo de respuesta es similar al tiempo necesario para alcanzar la altura objetivo partiendo desde la altura cero.



APÉNDICES

APÉNDICE A

TEORÍA ELECTRÓNICA

Teoría electrónica

I TIRISTORES

INTRODUCCION:

Un tiristor es uno de los tipos más importantes de los dispositivos semiconductores de potencia. Los tiristores se utilizan en forma extensa en los circuitos electrónicos de potencia. Se operan como conmutadores biestables, pasando de un estado no conductor a un estado conductor. Para muchas aplicaciones se puede suponer que los Tiristores son interruptores o conmutadores ideales, aunque los tiristores prácticos exhiben ciertas características y limitaciones.

CARACTERISTICAS DE LOS TIRISTORES:

Un Tiristor es dispositivo semiconductor de cuatro capas de estructura pnpn con tres uniones pn tiene tres terminales: ánodo cátodo y compuerta. La fig. 1 muestra el símbolo del tiristor y una sección recta de tres uniones pn. Los tiristores se fabrican por difusión. Cuando el voltaje del ánodo se hace positivo con respecto al cátodo, las uniones J1 y J3 tienen polarización directa o positiva. La unión J2 tiene polarización inversa, y solo fluirá una pequeña corriente de fuga del ánodo al cátodo. Se dice entonces que el tiristor está en condición de bloqueo directo o en estado desactivado llamándose a la corriente fuga corriente de estado inactivo I_D . Si el voltaje ánodo a cátodo V_{AK} se incrementa a un valor lo suficientemente grande la unión J2 polarizada inversamente entrará en ruptura. Esto se conoce como ruptura por avalancha y el voltaje correspondiente se llama voltaje de ruptura directa V_{BO} . Dado que las uniones J1 y J3 ya tienen

polarización directa, habrá un movimiento libre de portadores a través de las tres uniones que provocará una gran corriente directa del ánodo. Se dice entonces que el dispositivo está en estado de conducción o activado.



Fig. 1 Símbolo del tiristor y tres uniones pn

La caída de voltaje se deberá a la caída ohmica de las cuatro capas y será pequeña, por lo común 1V. En el estado activo, la corriente del ánodo está limitada por una impedancia o una resistencia externa, R_L , tal y como se muestra en la fig. 2. La corriente del ánodo debe ser mayor que un valor conocido como corriente de enganche I_L , a fin de mantener la cantidad requerida de flujo de portadores a través de la unión; de lo contrario, al reducirse el voltaje del ánodo al cátodo, el dispositivo regresará a la condición de bloqueo. La corriente de enganche, I_L , es la corriente del ánodo mínima requerida para mantener el tiristor en estado de conducción inmediatamente después de que ha sido activado y se ha

retirado la señal de la compuerta. En la fig. 2b aparece una gráfica característica v-i común de un tiristor.

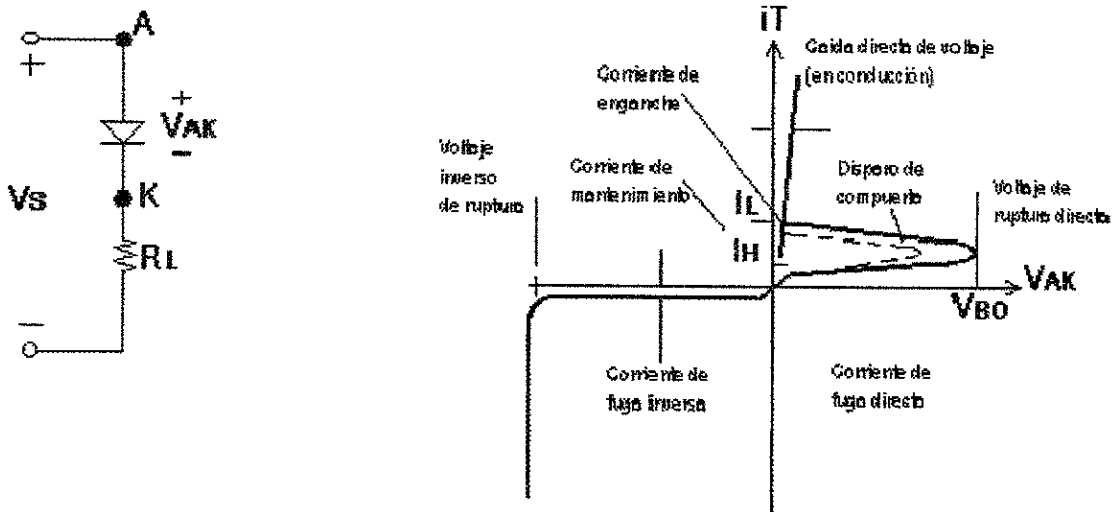


Fig.2 Circuito Tiristor y característica v-i

Una vez que el tiristor es activado , se comporta como un diodo en conducción y ya no hay control sobre el dispositivo. El tiristor seguirá conduciendo, porque en la unión J2 no existe una capa de agotamiento de vida a movimientos libres de portadores. Sin embargo si se reduce la corriente directa del ánodo por debajo de un nivel conocido como corriente de mantenimiento I_H , se genera una región de agotamiento alrededor de la unión J2 debida al número reducido de portadores; el tiristor estará entonces en estado de bloqueo. La corriente de mantenimiento es del orden de los miliamperios y es menor que la corriente de enganche, I_L . Esto significa que $I_L > I_H$. La corriente de mantenimiento I_H es la corriente del ánodo mínima para mantener el tiristor en estado de régimen permanente. La corriente de mantenimiento es menor que la corriente de enganche. Cuando el voltaje del cátodo es positivo con respecto al del ánodo, la

unión J2 tiene polarización directa, pero las uniones J1 y J3 tienen polarización inversa. Esto es similar a dos diodos conectados en serie con un voltaje inverso a través de ellos. El tiristor estará en estado de bloqueo inverso y una corriente de fuga inversa, conocida como corriente de fuga inversa IR, fluirá a través del dispositivo.

MODELO DE TIRISTOR DE DOS TRANSISTORES.

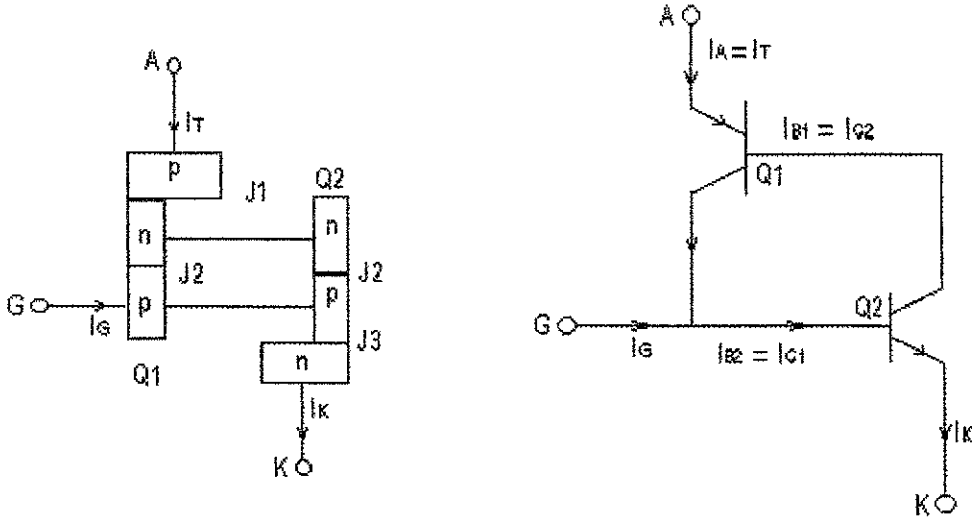
La acción regenerativa o de enganche de vida a la retroalimentación directa se puede demostrar mediante un modelo de tiristor de dos transistores. Un tiristor se puede considerar como dos transistores complementarios, un transistor PNP, Q1, y un transistor NPN, Q2, tal y como se demuestra en la figura 3.

La corriente del colector IC de un tiristor se relaciona, en general, con la corriente del emisor IE y la corriente de fuga de la unión colector-base ICBO, como

$$I_c = I_E + I_{CBO}.....(1)$$

La ganancia de corriente de base común se define como $\beta = I_C/I_E$. Para el transistor Q1 la corriente del emisor es la corriente del ánodo IA, y la corriente del colector IC1 se puede determinar a partir de la ecuación (1):

$$I_{C1} = \beta I_A + I_{CBO1}.....(2)$$



a) Estructura básica b) Circuito equivalente
 Fig. 3 Modelo de tiristor de dos terminales.

Donde α_1 es la ganancia de corriente y I_{CBO1} es la corriente de fuga para Q1. En forma similar para el transistor Q2, la corriente del colector I_{C2} es:

$$I_{C2} = 2I_K + I_{CBO2} \dots \dots \dots (3)$$

Donde 2 es la ganancia de corriente y I_{CBO2} es la corriente de fuga correspondiente a Q2. Al combinar I_{C1} e I_{C2} , obtenemos:

$$I_A = I_{C1} + I_{C2} = \alpha_1 I_A + I_{CBO1} + 2I_K + I_{CBO2} \dots \dots \dots (4)$$

Pero para una corriente de compuerta igual I_G , $I_K = I_A + I_G$ resolviendo la ecuación anterior en función de I_A obtenemos:

$$I_A = 2 I_G + I_{CBO1} + I_{CBO2} \dots \dots \dots (5)$$

$$1 - (\alpha_1 + \alpha_2)$$

ACTIVACION DEL TIRISTOR

Un tiristor se activa incrementando la corriente del ánodo. Esto se puede llevar a cabo mediante una de las siguientes formas.

TERMICA. Si la temperatura de un tiristor es alta habrá un aumento en el número de pares electrón-hueco, lo que aumentará las corrientes de fuga. Este aumento en las corrientes hará que I_1 y I_2 aumenten. Debido a la acción regenerativa ($I_1 + I_2$) puede tender a la unidad y el tiristor pudiera activarse. Este tipo de activación puede causar una fuga térmica que por lo general se evita.

LUZ. Si se permite que la luz llegue a las uniones de un tiristor, aumentaran los pares electrón-hueco pudiéndose activar el tiristor. La activación de tiristores por luz se logra permitiendo que esta llegue a los discos de silicio.

ALTO VOLTAJE. Si el voltaje directo ánodo a cátodo es mayor que el voltaje de ruptura directo V_{BO} , fluirá una corriente de fuga suficiente para iniciar una activación regenerativa. Este tipo de activación puede resultar destructiva por lo que se debe evitar.

dv/dt. Si la velocidad de elevación del voltaje ánodo-cátodo es alta, la corriente de carga de las uniones capacitivas puede ser suficiente para activar el tiristor. Un valor alto de corriente de carga puede dañar el tiristor por lo que el dispositivo debe protegerse contra dv/dt alto. Los fabricantes especifican el dv/dt máximo permisible de los tiristores.

CORRIENTE DE COMPUERTA. Si un tiristor está polarizado en directa, la inyección de una corriente de compuerta al aplicar un voltaje positivo de compuerta entre la compuerta y las terminales del cátodo activará

al tiristor. Conforme aumenta la corriente de compuerta, se reduce el voltaje de bloqueo directo, tal y como aparece en la fig.4

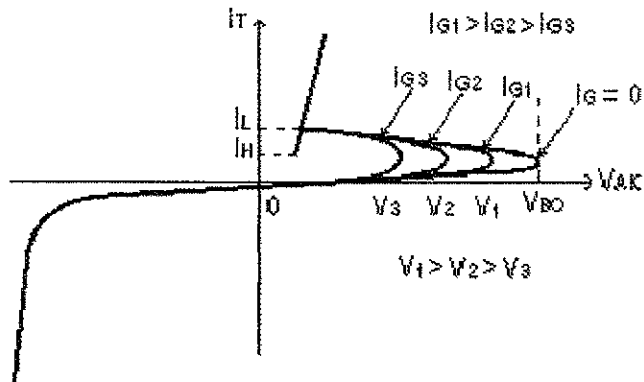


Fig.4 Efectos de la corriente de compuerta sobre el voltaje de bloqueo directo.

TIPOS DE TIRISTORES.

Los tiristores se fabrican casi exclusivamente por difusión. La corriente del ánodo requiere de un tiempo finito para propagarse por toda el área de la unión, desde el punto cercano a la compuerta cuando inicia la señal de la compuerta para activar el tiristor. Para controlar el di/dt , el tiempo de activación y el tiempo de desactivación, los fabricantes utilizan varias estructuras de compuerta.

Dependiendo de la construcción física y del comportamiento de activación y desactivación, en general los tiristores pueden clasificarse en nueve categorías:

1. Tiristores de control de fase (SCR).
2. Tiristores de conmutación rápida (SCR).

3. Tiristores de desactivación por compuerta (GTO).
4. Tiristores de triodo bidireccional (TRIAC).
5. Tiristores de conducción inversa (RTO).
6. Tiristores de inducción estática (SITH).
7. Rectificadores controlados por silicio activados por luz (LASCR)
8. Tiristores controlados por FET (FET-CTH)
9. Tiristores controlados por MOS (MCT)

TRIAC:

El TRIAC (triac de AC conductor) es un semiconductor capaz de bloquear tensión y conducir corriente en ambos sentidos entre los terminales principales T1 y T2. Su estructura básica y símbolo aparecen en la fig. 5. Es un componente simétrico en cuanto a conducción y estado de bloqueo se refiere, pues la característica en el cuadrante I de la curva $U_{T2-T1} \text{ --- } i_{T2}$ es igual a la del cuadrante III. Tiene unas fugas en bloqueo y una caída de tensión en conducción prácticamente iguales a las de un tiristor y el hecho de que entre en conducción, si se supera la tensión de ruptura en cualquier sentido, lo hace inmune a destrucción por sobretensión.

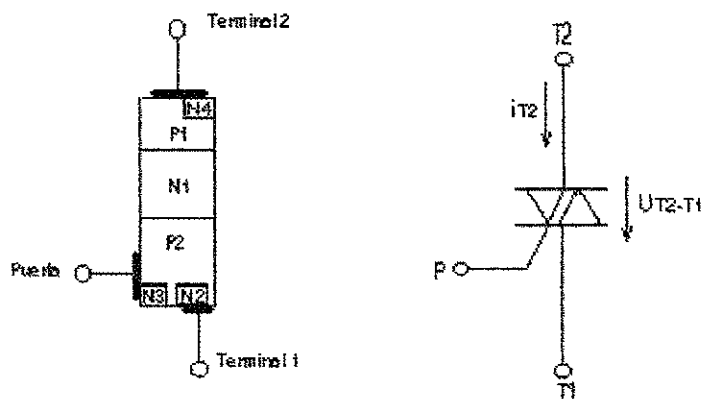


Fig.5 TRIAC: Estructura y símbolo.

Circuito equivalente de un Triac:

Se puede considerar a un TRIAC como si fueran dos SCR conectados en antiparalelo, con una conexión de compuerta común, como se muestra en la fig.6.

Dado que el TRIAC es un dispositivo bidireccional, no es posible identificar sus terminales como ánodo y cátodo. Si la terminal MT2 es positiva con respecto a la terminal MT1, se activará al aplicar una señal negativa a la compuerta, entre la compuerta y la terminal MT1. No es necesario que estén presentes ambas polaridades en las señales de la compuerta y un TRIAC puede ser activado con una sola señal positiva o negativa de compuerta. En la práctica, la sensibilidad varía de un cuadrante a otro, el TRIAC normalmente se opera en el cuadrante I (voltaje y corriente de compuerta positivos) o en el cuadrante III (voltaje y corriente de compuerta negativos).

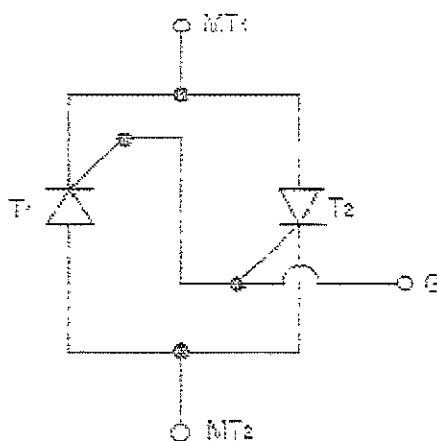


Fig.6 Circuito equivalente de un TRIAC

Modos de Funcionamiento de un Triac:

El TRIAC puede ser disparado en cualquiera de los dos cuadrantes I y III mediante la aplicación entre los terminales puerta y T1 de un impulso positivo o negativo. Esto le da una facilidad de empleo grande y simplifica mucho el circuito de disparo. A continuación se verán los fenómenos internos que tienen lugar en los cuatro modos de disparo posibles.

Modo I + : Terminal T2 positiva con respecto a T1.
Intensidad de puerta entrante.

Funcionan las capas P1N1P2N2 como tiristor con emisor en corto circuito, ya que la metalización del terminal del cátodo cortocircuita parcialmente la capa emisora N2 con la P2.

La corriente de puerta circula internamente hasta T1 , en parte por la unión P2N2 y en parte a través de la zona P2. Se produce la natural inyección de electrones de N2 a P2 que es favorecida en el área próxima a la puerta por la caída de tensión que produce en P2 la circulación lateral de corriente de puerta. Parte de los electrones inyectados alcanzan por difusión la unión P2N1, que bloquea el potencial exterior, y son acelerados por ella iniciándose la conducción.

Modo I - : Terminal T2 positivo respecto a T1.

Intensidad de puerta saliente.

El disparo es similar al de los tiristores de puerta de unión. Inicialmente conduce la estructura auxiliar P1N1P2N3 y luego la principal P1N1P2N2.

El disparo de la primera se produce como un tiristor normal actuado T1 de puerta y P de cátodo. Toda la estructura auxiliar se pone a la tensión positiva de T2 y polariza fuertemente la unión P2N2 que inyecta electrones hacia el área de potencial positivo. La unión P2N1 de la estructura principal que soporta la tensión exterior, es invadida por electrones en la vecindad de la estructura auxiliar, entrando en conducción.

Modo III + : Terminal T2 negativo respecto a T1.

Intensidad de puerta entrante.

El disparo tiene lugar por el procedimiento llamado de puerta remota.

Entra en conducción la estructura P2N1P1N4.

La inyección de electrones de N2 a P2 es igual a la descrita en el modo I +. Los que alcanzan por difusión la unión P2N1 son absorbidos

por su potencial de unión, haciéndose más conductora. El potencial positivo de puerta polariza más positivamente el área de la unión P2N1 próxima a ella que la próxima a T1, provocándose una inyección de huecos desde P2 a N1 que alcanza en parte la unión N1P1 encargada de bloquear la tensión exterior y se produce la entrada en conducción.

Modo III - : Terminal T2 negativo respecto a T1.
Intensidad de puerta saliente.

También se dispara por el procedimiento e puerta remota, conduciendo las capas P2N1P1N4.

La capa N3 inyecta electrones en P2 que hacen más conductora la unión P2N1. La tensión positiva de T1 polariza el área próxima de la unión P2N1 más positivamente que la próxima a la puerta. Esta polarización inyecta huecos de P2 a N1 que alcanzan en parte la unión N1P1 y la hacen pasar a conducción.

Los cuatro modos de disparo descritos tienen diferente sensibilidad. Siendo los modos I + y III - los más sensibles, seguidos de cerca por el I -. El modo III + es el disparo más difícil y debe evitarse su empleo en lo posible.

El fabricante facilita datos de características eléctricas el bloqueo, conducción y de disparo por puerta de forma similar a lo explicado para el tiristor.

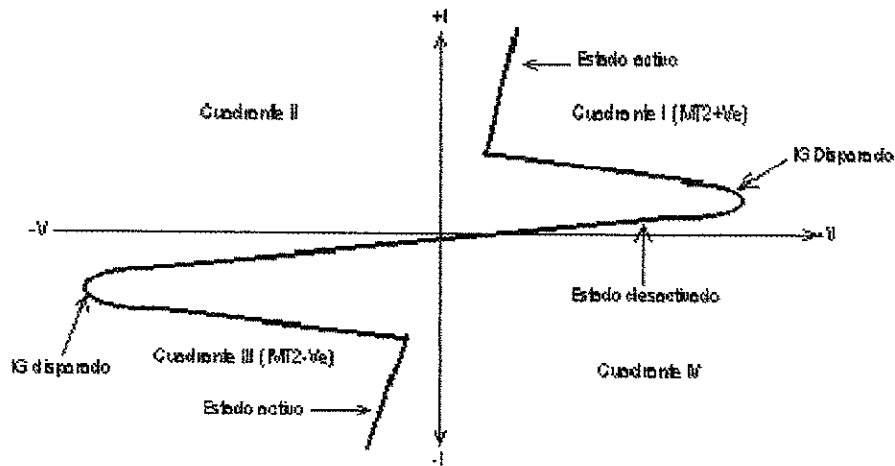


Fig.10 Características V-I de un TRIAC

AMPLIFICADORES OPERACIONALES (A.O)

El concepto original del AO (*amplificador operacional*) procede del campo de las computadoras analógicas, en las que comenzaron a usarse técnicas operacionales en una época tan temprana como en los años 40. El nombre de *amplificador operacional* deriva del concepto de un amplificador **dc** (amplificador acoplado en continua) con una entrada diferencial y ganancia extremadamente alta, cuyas características de operación estaban determinadas por los elementos de realimentación utilizados. Cambiando los tipos y disposición de los elementos de realimentación, podían implementarse diferentes operaciones analógicas; en gran medida, las características globales del circuito estaban determinadas **sólo** por estos elementos de realimentación. De esta forma, el mismo amplificador era capaz de realizar diversas

operaciones, y el desarrollo gradual de los amplificadores operacionales dio lugar al nacimiento de una nueva era en los conceptos de diseño de circuitos.

Un amplificador operacional equivale a una fuente de voltaje controlada por voltaje, es además un dispositivo lineal de propósito general el cual tiene capacidad de manejo de señal desde $f=0$ Hz hasta una frecuencia definida por el fabricante; tiene límites de señal que van del orden de los mV, hasta unas docenas de voltio (especificación también definida por el fabricante). Los amplificadores operacionales se caracterizan por su entrada diferencial y una ganancia muy alta, generalmente mayor que 10^5 equivalentes a 100dB. El A.O es un amplificador de alta ganancia directamente acoplado, que en general se alimenta con fuentes positivas y negativas, lo cual permite que tenga excursiones tanto por arriba como por debajo de tierra (o el punto de referencia que se considere).

El Amplificador Operacional ideal se caracteriza por:

1. Resistencia de entrada, (R_i), tiende a infinito.
2. Resistencia de salida, (R_o), tiende a cero.
3. Ganancia de tensión de lazo abierto, (A), tiende a infinito
4. Ancho de banda (BW) tiende a infinito.
5. $v_o = 0$ cuando $v_+ = v_-$.

Ya que la resistencia de entrada, R_i , es infinita, la corriente en cada entrada, inversora y no inversora, es cero. Además el hecho de que la ganancia de lazo abierto sea infinita hace que la tensión entre las dos terminales sea cero.

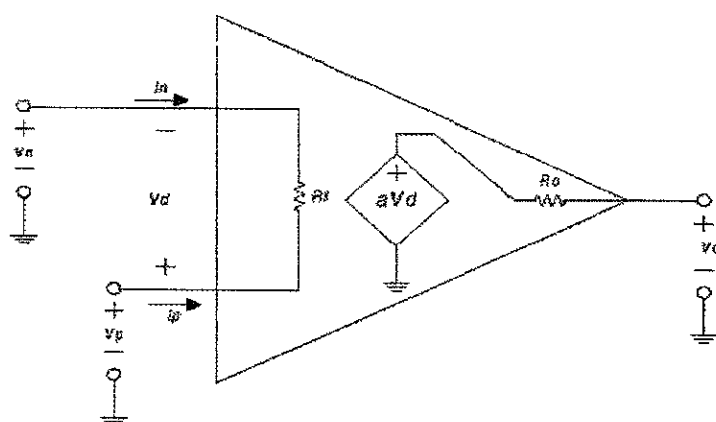


Figura 11 Amplificador operacional ideal

CONFIGURACIONES BASICAS DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Los amplificadores operacionales se pueden conectar según dos circuitos amplificadores básicos: las configuraciones (1) **inversora** y (2) **no inversora**. Casi todos los demás circuitos con amplificadores operacionales están basados, de alguna forma, en estas dos configuraciones básicas. Además, existen variaciones estrechamente relacionadas de estos dos circuitos, más otro circuito básico que es una combinación de los dos primeros: el **amplificador diferencial**.

EL AMPLIFICADOR INVERSOR

La figura 12 ilustra la primera configuración básica del AO. El amplificador inversor. En este circuito, la entrada (+) está a masa, y la señal se aplica a la entrada (-) a través de R_1 , con realimentación desde la salida a través de R_2 .

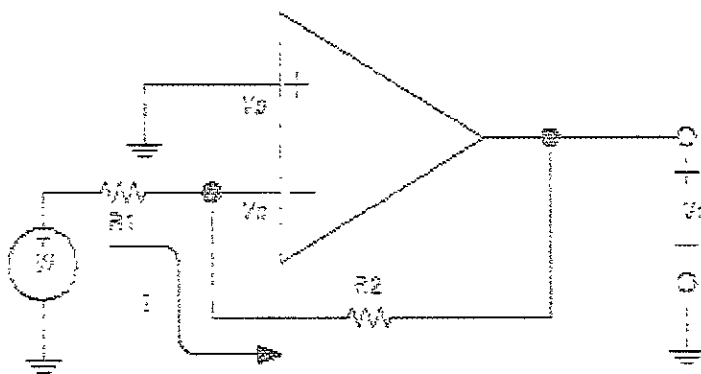


FIGURA 12 Amplificador operacional en configuración inversor

Aplicando las propiedades anteriormente establecidas del AO ideal, las características distintivas de este circuito se pueden analizar como sigue.

Puesto que el amplificador tiene ganancia infinita, desarrollará su tensión de salida, V_0 , con tensión de entrada nula. Ya que, la entrada diferencial de A es:

$$V_d = V_2 - V_1, \implies V_d = 0. \text{ - Y si } V_d = 0,$$

entonces toda la tensión de entrada V_1 , deberá aparecer en R_1 , obteniendo una corriente en R_1

$$I = \frac{V_i}{R_1}$$

V_n está a un potencial cero, es un punto de **tierra virtual**

Toda la corriente I que circula por R_1 pasará por R_2 , puesto que no se derivará ninguna corriente hacia la entrada del operacional (Impedancia infinita), así pues el producto de I por R_2 será igual a $-V_0$.

$$I = -\frac{V_0}{R_2}$$

$$\frac{V_i}{R_1} = -\frac{V_0}{R_2}$$

Por lo que:

$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_i$$

Luego la ganancia del amplificador no inversor es:

$$\frac{V_0}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Deben observarse otras propiedades adicionales del amplificador inversor ideal. La ganancia se puede variar ajustando bien R_1 , o bien R_2 . Si R_2 varía desde cero hasta infinito, la ganancia variará también desde cero hasta infinito, puesto que es directamente proporcional a R_2 . La impedancia de entrada es igual a R_1 , y V_i y R_1 únicamente

determinan la corriente I , por lo que la corriente que circula por R_2 es siempre I , para cualquier valor de dicha R_2 .

La entrada del amplificador, o el punto de conexión de la entrada y las señales de realimentación, es un nudo de tensión nula, independientemente de la corriente I . Luego, esta conexión es un punto de tierra virtual, un punto en el que siempre habrá el mismo potencial que en la entrada (+). Por tanto, este punto en el que se suman las señales de salida y entrada, se conoce también como nudo suma. Esta última característica conduce al tercer axioma básico de los amplificadores operacionales, el cual se aplica a la operación en bucle cerrado:

En bucle cerrado, la entrada (-) será regulada al potencial de entrada (+) o de referencia.

Esta propiedad puede aún ser o no ser obvia, a partir de la teoría de tensión de entrada de diferencial nula. Es, sin embargo, muy útil para entender el circuito del AO, ver la entrada (-) como un terminal de referencia, el cual controlará el nivel que ambas entradas asumen. Luego esta tensión puede ser masa (como en la figura 12), o cualquier potencial que se desee.

EL AMPLIFICADOR NO INVERSOR

La segunda configuración básica del AO ideal es el amplificador no inversor, mostrado en la figura 13. Este circuito ilustra claramente la validez del axioma 3.

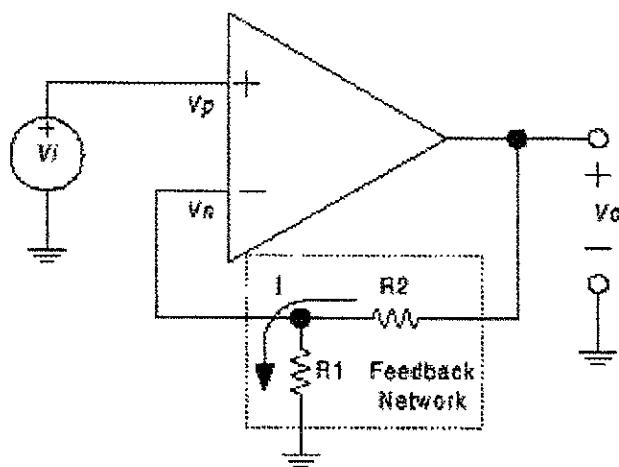


FIGURA 13 Amplificador operacional en configuración no inversor

En este circuito, la tensión V_i se aplica a la entrada (+), y una fracción de la señal de salida, V_o , se aplica a la entrada (-) a través del divisor de tensión $R_1 - R_2$. Puesto que, no fluye corriente de entrada en ningún terminal de entrada, y ya que $V_d = 0$, la tensión en R_1 será igual a V_i .

Así pues

$$V_i = I \cdot R_1$$

Y como

$$V_o = I \cdot (R_1 + R_2)$$

$$V_o = \frac{V_i}{R_1} \cdot (R_1 + R_2)$$

entonces

Que si lo expresamos en términos de la ganancia se tendrá :

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

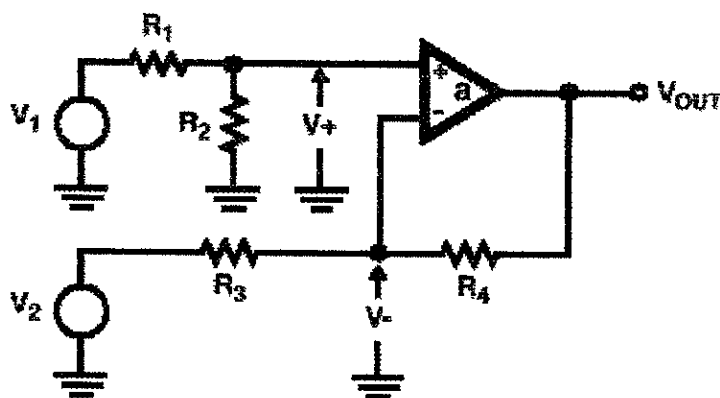
que es la ecuación característica de ganancia para el amplificador no inversor ideal.

También se pueden deducir propiedades adicionales para esta configuración. El límite inferior de ganancia se produce cuando $R_2 = 0$, lo que da lugar a una ganancia unidad.

En el amplificador inversor, la corriente a través de R_1 siempre determina la corriente a través de R_2 , independientemente del valor de R_2 , esto también es cierto en el amplificador no inversor. Luego R_2 puede utilizarse como un control de ganancia lineal, capaz de incrementar la ganancia desde el mínimo unidad hasta un máximo de infinito. La impedancia de entrada es infinita, puesto que se trata de un amplificador ideal.

El amplificador diferencial.-

Una tercera configuración del AO conocida como el amplificador diferencial, es una combinación de las dos configuraciones anteriores. Aunque está basado en los otros dos circuitos, el amplificador diferencial tiene características únicas. Este circuito, mostrado en la figura 4, tiene aplicadas señales en ambos terminales de entrada, y



utiliza la amplificación diferencial natural del amplificador operacional.

Figura 14 Amplificador en configuración diferencial

Para comprender el circuito, primero se estudiarán las dos señales de entrada por separado, y después combinadas. Como siempre $V_d = 0$ y la corriente de entrada en los terminales es cero.

Recordar que $V_d = V(+)-V(-) \implies V(-) = V(+)$

La tensión a la salida debida a V_1 la llamaremos V_{01}

$$V(+)=\frac{V_1}{R_1+R_3}\cdot R_2$$

y como $V(-) = V(+)$

La tensión de salida debida a V_1 (suponiendo $V_2 = 0$) valdrá:

$$V_{01} = \frac{V_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_3}$$

Y la salida debida a V_2 (suponiendo $V_1 = 0$) será, usando la ecuación de la ganancia para el circuito inversor, V_{02}

$$V_{02} = -V_2 \frac{R_4}{R_3}$$

Y dado que, aplicando el teorema de la superposición la tensión de salida $V_0 = V_{01} + V_{02}$ y haciendo que R_1 sea igual a R_2 y R_3 igual a R_4 tendremos que:

$$V_{01} = \frac{V_1 \cdot R_2}{R_1} \quad V_{02} = -V_2 \frac{R_3}{R_1}$$

por lo que concluiremos

$$V_0 = (V_1 - V_2) \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

que expresando en términos de ganancia:

$$\frac{V_0}{V_1 - V_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

que es la ganancia de la etapa para señales en modo diferencial

Esta configuración es única porque puede rechazar una señal común a ambas entradas. Esto se debe a la propiedad de tensión de entrada diferencial nula, que se explica a continuación.

En el caso de que las señales V_1 y V_2 sean idénticas, el análisis es sencillo. V_1 se dividirá entre R_1 y R_2 , apareciendo una menor tensión $V(+)$ en R_2 . Debido a la ganancia infinita del amplificador, y a la tensión de entrada diferencial cero, una tensión igual $V(-)$ debe aparecer en el nudo suma (-). Puesto que la red de resistencias R_3 y R_4 es igual a la red R_1 y R_2 , y se aplica la misma tensión a ambos terminales de entrada, se concluye que V_o debe estar a potencial nulo para que $V(-)$ se mantenga igual a $V(+)$; V_o estará al mismo potencial que R_2 , el cual, de hecho está a masa. Esta muy útil propiedad del amplificador diferencial, puede utilizarse para discriminar componentes de ruido en modo común no deseables, mientras que se amplifican las señales que aparecen de forma diferencial. Si se cumple la relación

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}$$

La ganancia para señales en modo común es cero, puesto que, por definición, el amplificador no tiene ganancia cuando se aplican señales iguales a ambas entradas.

Las dos impedancias de entrada de la etapa son distintas. Para la entrada (+), la impedancia de entrada es $R_1 + R_2$. La impedancia para la

El seguidor de tensión

Una modificación especial del amplificador no inversor es la etapa de ganancia unidad mostrada en la figura 16

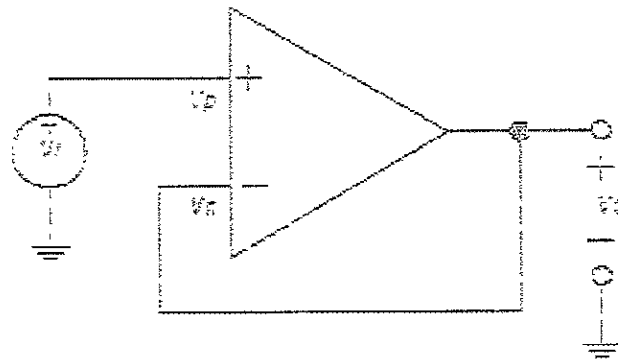


FIGURA 16 Amplificador operacional en configuración de seguidor

En este circuito, la resistencia de entrada se ha incrementado hasta infinito, y R_f es cero, y la realimentación es del 100%. V_o es entonces exactamente igual a V_i , dado que $I_s = 0$. El circuito se conoce como "seguidor de emisor" puesto que la salida es una réplica en fase con ganancia unidad de la tensión de entrada. La impedancia de entrada de esta etapa es también infinita.

APÉNDICE B

HOJAS DE DATOS TÉCNICOS



MICROCHIP

PIC16C5X

EPROM/ROM-Based 8-Bit CMOS Microcontroller Series

Devices included in this Data Sheet:

- PIC16C52
- PIC16C54s
- PIC16CR54s
- PIC16C55s
- PIC16C56s
- PIC16CR56s
- PIC16C57s
- PIC16CR57s
- PIC16C58s
- PIC16CR58s

Note: The letter "s" used following the part numbers throughout this document indicate plural, meaning there is more than one part variety for the indicated device.

High-Performance RISC CPU:

- Only 33 single word instructions to learn
- All instructions are single cycle (200 ns) except for program branches which are two-cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle

Device	Pins	I/O	EPROM/ ROM	RAM
PIC16C52	18	12	384	25
PIC16C54	18	12	512	25
PIC16C54A	18	12	512	25
PIC16C54B	18	12	512	25
PIC16C54C	18	12	512	25
PIC16CR54A	18	12	512	25
PIC16CR54B	18	12	512	25
PIC16CR54C	18	12	512	25
PIC16C55	28	20	512	24
PIC16C55A	28	20	512	24
PIC16C56	18	12	1K	25
PIC16C56A	18	12	1K	25
PIC16CR56A	18	12	1K	25
PIC16C57	28	20	2K	72
PIC16C57C	28	20	2K	72
PIC16CR57B	28	20	2K	72
PIC16CR57C	28	20	2K	72
PIC16C58A	18	12	2K	73
PIC16C58B	18	12	2K	73
PIC16CR58A	18	12	2K	73
PIC16CR58B	18	12	2K	73

- 12-bit wide instructions
- 8-bit wide data path
- Seven or eight special function hardware registers
- Two-level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes for data and instructions

Peripheral Features:

- 8-bit real time clock/counter (TMR0) with 8-bit programmable prescaler
- Power-On Reset (POR)
- Device Reset Timer (DRT)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code-protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options:
 - RC: Low-cost RC oscillator
 - XT: Standard crystal/resonator
 - HS: High-speed crystal/resonator
 - LP: Power saving, low-frequency crystal

CMOS Technology:

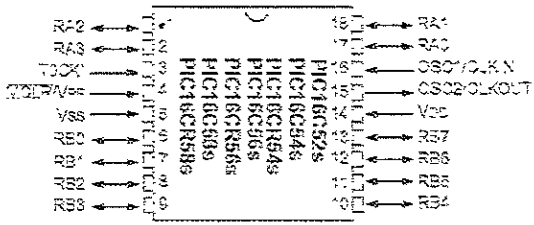
- Low-power, high-speed CMOS EPROM/ROM technology
- Fully static design
- Wide-operating voltage and temperature range:
 - EPROM Commercial/Industrial 2.0V to 6.25V
 - ROM Commercial/Industrial 2.0V to 6.25V
 - EPROM Extended 2.5V to 6.0V
 - ROM Extended 2.5V to 6.0V
- Low-power consumption
 - < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 15 μ A typical @ 3V, 32 kHz
 - < 0.6 μ A typical standby current (with WDT disabled) @ 3V, 0°C to 70°C

Note: In this document, figure and table titles refer to all varieties of the part number indicated, (i.e. The title "Figure 14-1: Load Conditions - PIC16C54A" also refers to PIC16LC54A and PIC16LV54A parts).

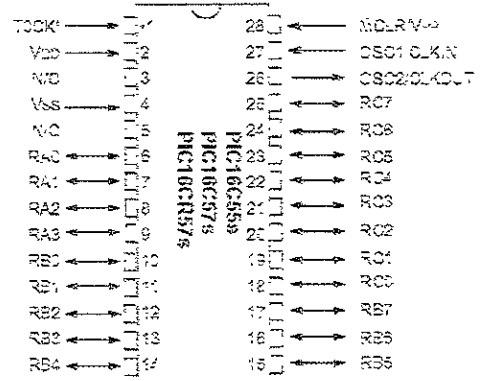
PIC16C5X

Pin Diagrams

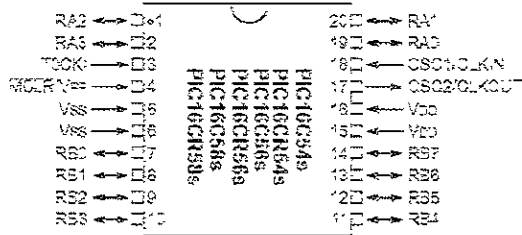
PDIP, SOIC, Windowed CERDIP



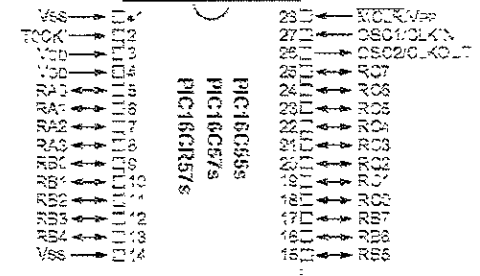
PDIP, SOIC, Windowed CERDIP



SOIC



SOIC



MM74C48

BCD-to-7 Segment Decoder

General Description

The MM74C48 BCD-to-7 segment decoder is a monolithic complementary MOS (CMOS) integrated circuit constructed with N- and P-channel enhancement transistors. Seven NAND gates and one driver are connected in pairs to make binary-coded decimal (BCD) data and its complement available to the seven decoding AND-OR-INVERT gates. The remaining NAND gate and three input buffers provide test-blanking input/ripple-blanking output, and ripple-blanking inputs.

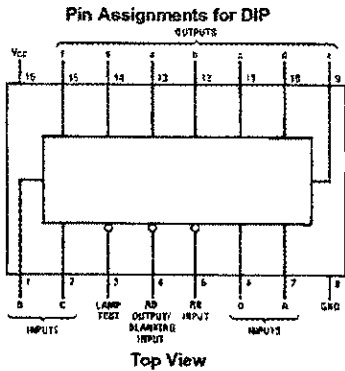
Features

- Wide supply voltage range: 3.0V to 15V
- Guaranteed noise margin: 1.0V
- High noise immunity: $0.45 V_{CC}$ (typ)
- Low power TTL compatibility:
fan out of 2 driving 74L
- High current sourcing output (up to 50 mA)
- Ripple blanking for leading or trailing zeros (optional)
- Lamp test provision

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
MM74C48N	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

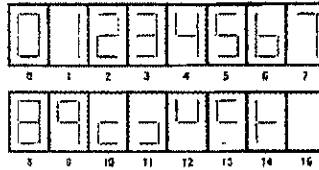
Connection Diagrams



Segment Identification



Numerical Designations and Resultant Displays



54LS04/DM54LS04/DM74LS04 Hex Inverting Gates

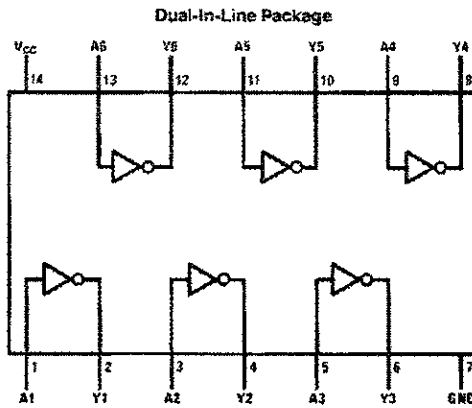
General Description

This device contains six independent gates each of which performs the logic INVERT function.

Features

- Alternate Military/Aerospace device (54LS04) is available. Contact a National Semiconductor Sales Office/Distributor for specifications.

Connection Diagram



TL/9/8945-1

Order Number 54LS04DMQB, 54LS04FMQB, 54LS04LMQB, DM54LS04J, DM54LS04W, DM74LS04M or DM74LS04N
See NS Package Number E20A, J14A, M14A, N14A or W14B

54LS04/DM54LS04/DM74LS04 Hex Inverting Gates

Function Table

$$Y = \bar{A}$$

Input	Output
A	Y
L	H
H	L

H = High Logic Level
L = Low Logic Level

54LS08/DM54LS08/DM74LS08 Quad 2-Input AND Gates

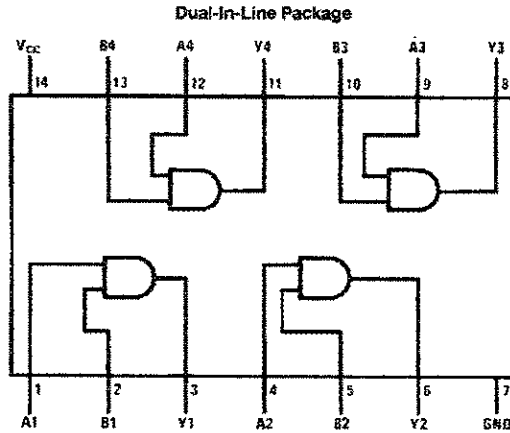
General Description

This device contains four independent gates each of which performs the logic AND function.

Features

- Alternate Military/Aerospace device (54LS08) is available. Contact a National Semiconductor Sales Office/Distributor for specifications.

Connection Diagram



TL/F/6947-1

Order Number 54LS08DMQB, 54LS08FMQB, 54LS08LMQB, DM54LS08J, DM54LS08W, DM74LS08M or DM74LS08N
See NS Package Number E20A, J14A, M14A, N14A or W14B

Function Table

$$Y = AB$$

Inputs		Output
A	B	Y
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

H - High Logic Level
L - Low Logic Level

54LS08/DM54LS08/DM74LS08 Quad 2-Input AND Gates



DM74ALS125

Quad 3-STATE Buffer

General Description

This device contains four independent gates each of which performs a non-inverting buffer function. The outputs have the 3-STATE feature. The 3-STATE circuitry contains a feature that maintains the buffer outputs in 3-STATE (high impedance state) during power supply ramp-up or ramp-down. This eliminates bus glitching problems that arise during power-up and power-down. To minimize the possibility that two outputs will attempt to take a common bus to opposite logic levels, the disable time is shorter than the enable time of the outputs.

Features

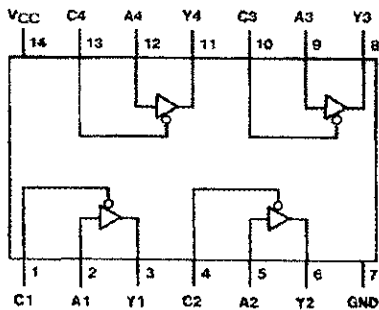
- Advanced low power oxide-isolated ion-implanted Schottky TTL process
- Functional and pin compatible with the 74LS counterpart
- Switching response specified into 500Ω and 50 pF load
- Switching response specifications guaranteed over full temperature and V_{CC} supply range
- PNP input design reduces input loading
- Low level drive current. 74ALS - 24 mA

Ordering Code:

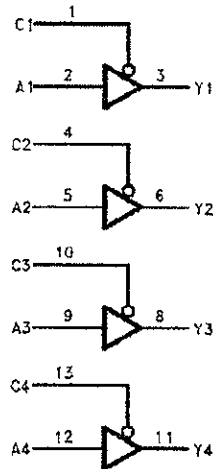
Order Number	Package Number	Package Description
DM74ALS125M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150 Narrow
DM74ALS125N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Logic Diagram



Functional Table

Y - A

Input		Output
A	C	Y
L	L	L
H	L	H
X	H	Hi-Z

H - HIGH Logic Level
L - LOW Logic Level
X - Either LOW or HIGH Logic Level
Hi-Z - 3-STATE (Outputs are disabled)

DM74LS273 8-Bit Register with Clear

General Description

The DM74LS273 is a high speed 8-bit register, consisting of eight D-type flip-flops with a common Clock and an asynchronous active LOW Master Reset. This device is supplied in a 20-pin package featuring 0.3 inch row spacing.

Features

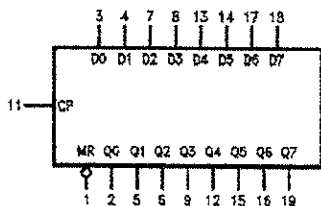
- Edge-triggered
- 8-bit high speed register
- Parallel in and out
- Common clock and master reset

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS273WM	M20B	20-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-013, 0.300 Wide
DM74LS273SJ	M20D	20-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
DM74LS273N	N20A	20-Lead Plastic Dual-in-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

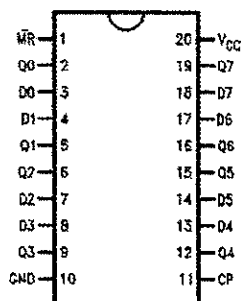
Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Logic Symbol



V_{CC} - Pin 20
GND - Pin 10

Connection Diagram



Pin Descriptions

Pin Names	Description
CP	Clock Pulse Input (Active Rising Edge)
D0-D7	Data Inputs
MR	Asynchronous Master Reset Input (Active LOW)
Q0-Q7	Flip-Flop Outputs

Truth Table

Inputs			Outputs
MR	CP	D _n	Q _n
L	X	X	L
H	↗	H	H
H	↘	L	L

H - HIGH Voltage Level
L - LOW Voltage Level
X = Immaterial

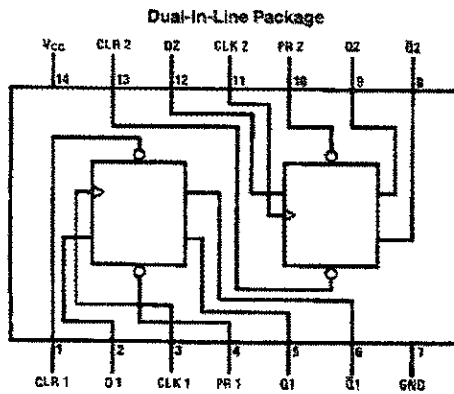
DM54L74 Dual Positive-Edge-Triggered D Flip-Flops with Preset, Clear, and Complementary Outputs

General Description

This device contains two independent positive-edge-triggered D flip-flops with complementary outputs. The information on the D input is accepted by the flip-flops on the positive going edge of the clock pulse. The triggering occurs at a voltage level and is not directly related to the transition time of the rising edge of the clock. The data on the D input

may be changed while the clock is low or high without affecting the outputs as long as the data setup and hold times are not violated. A low logic level on the preset or clear inputs will set or reset the outputs regardless of the logic levels of the other inputs.

Connection Diagram



TU/F/8631-1

Order Number DM54L74J or DM54L74W
See NS Package Number J14A or W14B

Function Table

Inputs				Outputs	
PR	CLR	CLK	D	Q	\bar{Q}
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H*	H*
H	H	↑	H	H	L
H	H	↑	L	L	H
H	H	L	X	Q_0	\bar{Q}_0

H = High Logic Level

X = Either Low or High Logic Level

L = Low Logic Level

↑ = Positive-going transition

Q_0 = The output logic level of Q before the indicated input conditions were established

* This configuration is nonstable; that is, it will not persist when either the preset and/or clear inputs returned to their inactive (high) level.

DM54L74 Dual Positive-Edge-Triggered D Flip-Flops with Preset, Clear, and Complementary Outputs

LM341/LM78MXX Series 3-Terminal Positive Voltage Regulators

General Description

The LM341 and LM78MXX series of three-terminal positive voltage regulators employ built-in current limiting, thermal shutdown, and safe-operating area protection which makes them virtually immune to damage from output overloads.

With adequate heatsinking, they can deliver in excess of 0.5A output current. Typical applications would include local (on-card) regulators which can eliminate the noise and degraded performance associated with single-point regulation.

Features

- Output current in excess of 0.5A
- No external components
- Internal thermal overload protection
- Internal short circuit current-limiting
- Output transistor safe-area compensation
- Available in TO-220, TO-39, and TO-252 D-PAK packages
- Output voltages of 5V, 12V, and 15V

Connection Diagrams

TO-39 Metal Can Package (H)



DS010434-6

Bottom View

Order Number LM78M05CH, LM78M12CH or LM78M15CH
See NS Package Number H03A

TO-220 Power Package (T)

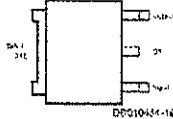


DS010434-6

Top View

Order Number LM341T-5.0, LM341T-12, LM341T-15, LM78M05CT, LM78M12CT or LM78M15CT
See NS Package Number T03B

TO-252



DS010434-12

Top View

Order Number LM78M05CDT
See NS Package Number TD03B

ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805 8-Bit μ P Compatible A/D Converters

General Description

The ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804 and ADC0805 are CMOS 8-bit successive approximation A/D converters that use a differential potentiometric ladder — similar to the 256R products. These converters are designed to allow operation with the NSC800 and INSB080A derivative control bus with TRI-STATE[®] output latches directly driving the data bus. These A/Ds appear like memory locations or I/O ports to the microprocessor and no interfacing logic is needed.

Differential analog voltage inputs allow increasing the common-mode rejection and offsetting the analog zero input voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

Features

- Compatible with 8080 μ P derivatives — no interfacing logic needed - access time - 135 ns
- Easy interface to all microprocessors or operates "stand alone"

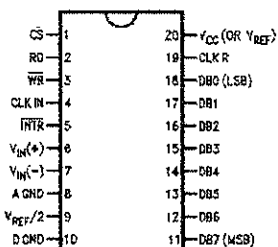
- Differential analog voltage inputs
- Logic inputs and outputs meet both MOS and TTL voltage level specifications
- Works with 2.5V (LM336) voltage reference
- On-chip clock generator
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero adjust required
- 0.3" standard width 20-pin DIP package
- 20-pin molded chip carrier or small outline package
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} , 2.5 V_{DC} , or analog span adjusted voltage reference

Key Specifications

- Resolution 8 bits
- Total error $\pm 1/4$ LSB, $\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB
- Conversion time 100 μ s

Connection Diagram

ADC080X
Dual-In-Line and Small Outline (SO) Packages



DS000871-10

See Ordering Information

Ordering Information

TEMP RANGE		0°C TO 70°C	0°C TO 70°C	-40°C TO +85°C
ERROR	$\pm 1/4$ Bit Adjusted			ADC0801LCN
	$\pm 1/2$ Bit Unadjusted	ADC0802LCWM		ADC0802LCN
	$\pm 1/2$ Bit Adjusted		ADC0804LCN	ADC0803LCN
	± 1 Bit Unadjusted	ADC0804LCWM		ADC0805LCN/ADC0804LCJ
PACKAGE OUTLINE		M20B — Small Outline	N20A — Molded DIP	

TRI-STATE[®] is a registered trademark of National Semiconductor Corp.
Z-80[®] is a registered trademark of Zilog Corp.

LM2907/LM2917

Frequency to Voltage Converter

General Description

The LM2907, LM2917 series are monolithic frequency to voltage converters with a high gain op amp/comparator designed to operate a relay, lamp, or other load when the input frequency reaches or exceeds a selected rate. The tachometer uses a charge pump technique and offers frequency doubling for low ripple, full input protection in two versions (LM2907-8, LM2917-8) and its output swings to ground for a zero frequency input.

The op amp/comparator is fully compatible with the tachometer and has a floating transistor as its output. This feature allows either a ground or supply referred load of up to 50 mA. The collector may be taken above V_{CC} up to a maximum V_{CE} of 28V.

The two basic configurations offered include an 8-pin device with a *ground referenced tachometer* input and an internal connection between the tachometer output and the op amp non-inverting input. This version is well suited for single speed or frequency switching or fully buffered frequency to voltage conversion applications.

The more versatile configurations provide differential tachometer input and uncommitted op amp inputs. With this version the tachometer input may be floated and the op amp becomes suitable for active filter conditioning of the tachometer output.

Both of these configurations are available with an active shunt regulator connected across the power leads. The regulator clamps the supply such that stable frequency to voltage and frequency to current operations are possible with any supply voltage and a suitable resistor.

Advantages

- Output swings to ground for zero frequency input

- Easy to use; $V_{OUT} = f_{IN} \times V_{CC} \times R1 \times C1$
- Only one RC network provides frequency doubling
- Zener regulator on chip allows accurate and stable frequency to voltage or current conversion (LM2917)

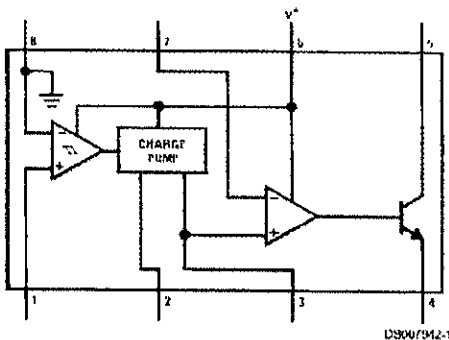
Features

- Ground referenced tachometer input interfaces directly with variable reluctance magnetic pickups
- Op amp/comparator has floating transistor output
- 50 mA sink or source to operate relays, solenoids, meters, or LEDs
- Frequency doubling for low ripple
- Tachometer has built-in hysteresis with either differential input or ground referenced input
- Built-in zener on LM2917
- $\pm 0.3\%$ linearity typical
- Ground referenced tachometer is fully protected from damage due to swings above V_{CC} and below ground

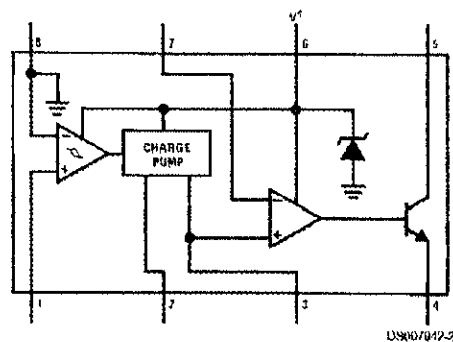
Applications

- Over/under speed sensing
- Frequency to voltage conversion (tachometer)
- Speedometers
- Breaker point dwell meters
- Hand-held tachometer
- Speed governors
- Cruise control
- Automotive door lock control
- Clutch control
- Horn control
- Touch or sound switches

Block and Connection Diagrams Dual-In-Line and Small Outline Packages, Top Views



Order Number LM2907M-8 or LM2907N-8
See NS Package Number M08A or N08E



Order Number LM2917M-8 or LM2917N-8
See NS Package Number M08A or N08E

LM111/LM211/LM311 Voltage Comparator

1.0 General Description

The LM111, LM211 and LM311 are voltage comparators that have input currents nearly a thousand times lower than devices like the LM106 or LM710. They are also designed to operate over a wider range of supply voltages, from standard $\pm 15V$ op amp supplies down to the single 5V supply used for IC logic. Their output is compatible with RTL, DTL and TTL as well as MOS circuits. Further, they can drive lamps or relays, switching voltages up to 50V at currents as high as 50 mA.

Both the inputs and the outputs of the LM111, LM211 or the LM311 can be isolated from system ground, and the output can drive loads referred to ground, the positive supply or the negative supply. Offset balancing and strobe capability are provided and outputs can be wire OR'ed. Although slower than the LM106 and LM710 (200 ns response time vs 40 ns)

the devices are also much less prone to spurious oscillations. The LM111 has the same pin configuration as the LM106 and LM710.

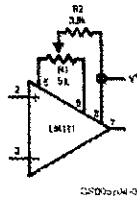
The LM211 is identical to the LM111, except that its performance is specified over a $-25^{\circ}C$ to $+65^{\circ}C$ temperature range instead of $-65^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$. The LM311 has a temperature range of $0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$.

2.0 Features

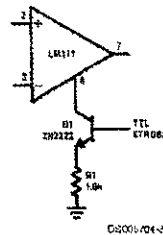
- Operates from single 5V supply
- Input current: 150 nA max. over temperature
- Offset current: 20 nA max. over temperature
- Differential input voltage range: $\pm 30V$
- Power consumption: 135 mW at $\pm 15V$

3.0 Typical Applications (Note 3)

Offset Balancing

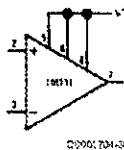


Strobing



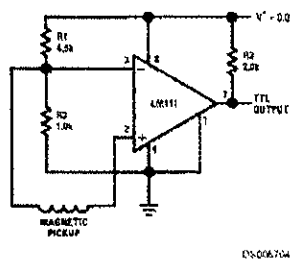
Note: Do Not Ground Strobe Pin. Output is turned off when current is pulled from Strobe Pin.

Increasing Input Stage Current (Note 1)



Note 1: Increase typical common mode slew from 7.0V/ μs to 15V/ μs

Detector for Magnetic Transducer



LM555 Timer

General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200mA or drive TTL circuits.

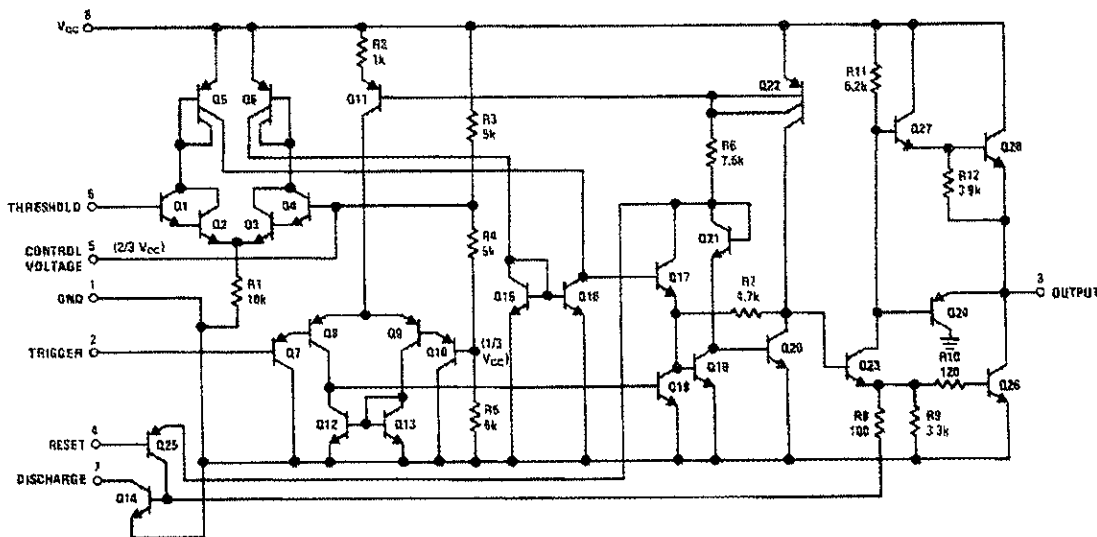
Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output
- Available in 8-pin MSOP package

Applications

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

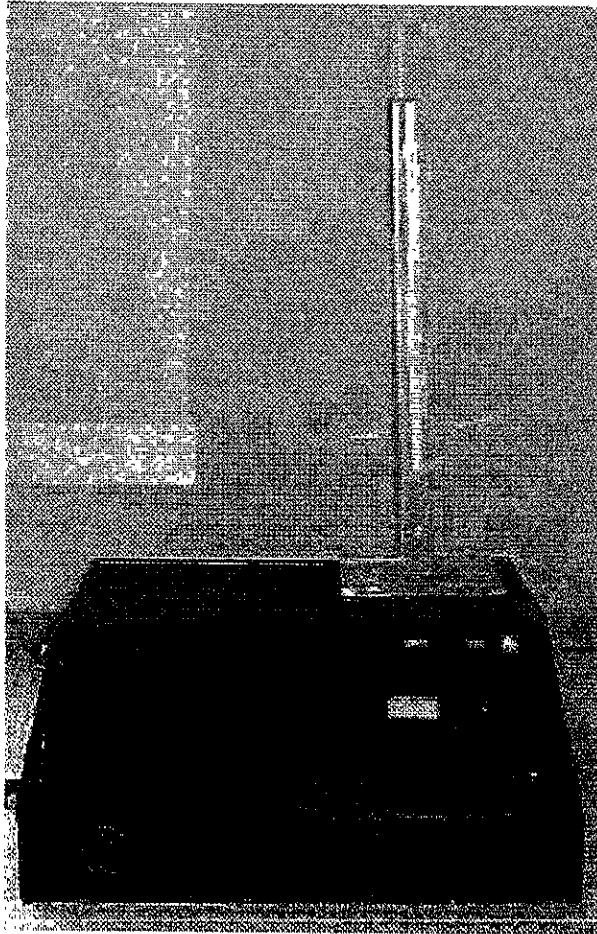
Schematic Diagram



DS007851-1

APÉNDICE C

DIAGRAMA ELÉCTRICO



Fotografía del Sistema Físico

BIBLIOGRAFÍA

- GUPTA, M.M. & Yamakawa Takeshi, "Fuzzy Logic in knowledge based systems, decision and control" Ed. Elsevier Science Publisher (1988) 2a. Ed. 1991, New York, p. 410.
- GUTIÉRREZ SAÉNZ, RAUL "*Introducción a la lógica*", Edit. Esfinge (1969) 24 Ed. México, 1989, p. 328.
- LIPSCHUTZ, SEYMOUR , "*Teoría y problemas de teoría de conjuntos y temas afines*, " Edit. McGraw-Hill, México, 1970, p. 233
- OGATA, KATSUITO, "Modern Control Engineering" Ed. Prentice Hall 2a. Ed., New Jersey, 1990 p. 963.
- RAMO, SIMON. et. al, "*Fields And Waves In Communication Electrónica*" ; Edit. J. Willey, New York, 1965, p. 754.
- SKILLING, HUG HILDRET "*Fundamentals of electric waves*" 2ª. Edición, J. Willey, New York, 1948., p. 245
- ZADEH, LOTFI ASKER., "*Fuzzy Logic for de management of uncertainty*" Edit. By Lotfi A. Zadeh, Janusz Kacprzyk, New York: J. Willey, 1992, p. 676
- ZADEH, LOTFI ASKER & DESOER, A. CHARLES, "*Linear system theory; the state space approach*" Edit. McGraw-Hill, New York, 1963 p. 628

RECURSOS DE INTERNET

http://ifent.org/temas/amplificadores_operacionales.htm

<http://www.national.com>

<http://www.national.com/fairchild/part7.html>

<http://proton.ucting.udg.mx/paginas/hermosillo/pag12.html>

<http://www.microchip.com>

<http://www-isis.ecs.soton.ac.uk/research/nfinfo/fuzzy.html>

<http://http.cs.berkeley.edu/csbrochure/faculty/zadeh.html>