



18 20
Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

**DISEÑO DE UN CONTROLADOR
DIGITAL PARA UN PROCESO DE
INCUBACION ARTIFICIAL**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N
ALFONSO OCHOA LEGORRETA
RODRIGO GARCIA DOMINGUEZ
JOSE MANUEL DE A. NOVELO RUIZ

Director de Tesis:
ING. JORGE BUENDIA GOMEZ



Cuautitlán Izcalli, Méx.

1990

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE.

INTRODUCCION.

PROLOGO.....	1
CAPITULO 1.....	3
Proceso de Incubación.....	3
La Preparación de la Incubadora.....	3
El Control de la Temperatura.....	4
El Control de la Humedad Relativa del Aire.....	6
Ventilación.....	6
Consumo de Oxigeno Durante la Incubación.....	7
El Volteo de los Huevos.....	8
CAPITULO II.....	9
Controles Automáticos.....	9
Control de dos Posiciones o de si-no.....	12
Control Proporcional.....	12
Control Integral.....	13
Control Proporcional Integral.....	14
Control Proporcional Derivativo.....	14
Control Proporcional Integral Derivativo.....	15
Convertidores A/D.....	16
Convertidor A/D de Simple Rampa.....	17
Convertidor A/D de Doble Rampa.....	19
Convertidores D/A.....	20
Convertidor D/A de Resistencia Ponderada.....	21
Convertidor D/A de Escalera R-2R.....	22
Aclaración.....	24
Convertidor A/D de Contador Controlado (de Escalera).....	26

Microprocesadores.....	28
Microprocesador Z-80.....	30
CAPITULO III.....	33
Principio de Funcionamiento de un Control de Temperatura.....	33
Elementos Sensores.....	35
Termocoples.....	35
Termistores.....	38
RTD.....	41
Sensor Lineal de Temperatura Monolitico.....	44
Diodos.....	45
Elección del Elemento Sensor.....	48
Sistema Microprocesador.....	52
Termómetro Digital.....	53
CAPITULO IV.....	55
La Instalación Calefactora.....	55
Formas de Transferencia de Calor.....	57
Sistemas de Calefacción.....	59
Calefacción por Agua Caliente.....	59
Calefacción por Vapor de Agua.....	60
Calefacción por Aire Caliente.....	61
Calefacción por Resistencia Eléctrica.....	62
Calefacción por Paneles Radiantes.....	63
Calefacción Electrónica.....	63
Calefacción Termodinámica.....	64
Calefacción por Radiación Solar.....	65
CAPITULO V.....	69
Definiciones.....	69
Técnicas de Medición de Humedad.....	70

La Carta Psicrométrica.....	75
Procesos Psicrométricos.....	77
Proceso de Enfriamiento y Deshumidificación.....	77
Proceso de Enfriamiento y Humidificación.....	79
Proceso de Calentamiento y Deshumidificación.....	80
Proceso de Calentamiento y Humidificación.....	81
La Humidificación del Ambiente.....	82
CAPITULO VI.....	85
Diseño del Control de Temperatura y Humedad.....	85
Etapa Convertidora Digital/Analógica.....	85
Etapa Comparadora.....	86
Sensor de Temperatura (Bulbo seco).....	87
Sensor de Temperatura (Bulbo Húmedo).....	88
Programa Principal.....	90
Subrutina Generadora de la Función Rampa.....	91
Subrutina de Evaluación y Análisis de Error.....	93
Función de Control PID.....	95
Control Proporcional (PID 1).....	97
Control Integral (PID 2).....	97
Control Derivativo (PID 3).....	99
Subrutinas Auxiliares y de Apoyo.....	101
Multiplicación.....	101
División.....	103
Complementación A2.....	105
Análisis de Signos y Evaluación de Operación.....	106
Cambio de Control.....	109
Acoplo de Constantes 1 y 2.....	110
Modulación de Potencia Para el Control de Temperatura.....	112

Modulación de Potencia Para el Control de Humedad.....	113
CAPITULO VII.....	117
Posición del Huevo Durante la Incubación.....	117
Volteo de los Huevos Durante la Incubación.....	118
Velocidad de Volteo.....	119
Mecanismo de Volteo.....	120
Sistema Mecánico.....	121
Sistema Electrónico.....	122
Ventilación.....	123
Ventilación Natural.....	125
Ventilación Artificial.....	126
CONCLUSIONES.....	129
APENDICE A.....	131
Software del Control de Temperatura y Humedad.....	131
Programa Para Cálculo de Constantes K_p , K_d y K_i	137
APENDICE B.....	139
Equipo de Apoyo y Circuitos Impresos.....	139
APENDICE C.....	142
Lista de Materiales.....	142
APENDICE D.....	145
Características de los Circuitos Integrados.....	145
APENDICE E.....	155
Bibliografía.....	155

INTRODUCCION.

La realización de este trabajo tratará , en mayor o menor grado de cumplir con los siguientes objetivos:

- a) La investigación de los parámetros que se deben controlar durante la incubación artificial.
- b) La realización de un diseño económico, pero al mismo tiempo, con una alta competitividad con las incubadoras ya existentes.
- c) La utilización de componentes de fácil adquisición en el mercado y finalmente
- d) Evitar en lo mayor posible la intervención humana durante todo el proceso.

La idea básica es la de contar con un sistema que sea capaz de controlar, dirigir y regular el funcionamiento de una incubadora, contando para ello con la ayuda de un microprocesador, el cual realizará las funciones que antes correspondían al elemento humano.

Se ha estructurado esta obra como una secuencia lógica de sucesos importantes en el diseño. Así, esta obra está dividida en siete capítulos, sobre los cuales a continuación trataremos de dar un panorama general acerca del contenido de estos:

El capítulo I tratará acerca de los parámetros que componen el proceso de incubación dando una breve explicación de cada uno de ellos.

En el capítulo II hablaremos acerca de los tipos de controles existentes, veremos algunos tipos de convertidores y daremos una

breve introducción hacia los microprocesadores.

En el capítulo III explicaremos las bases de un control de temperatura, analizaremos algunos de los tipos más comunes de sensores e implementaremos un termómetro digital, del cual más adelante justificaremos su uso.

El capítulo IV constará de los tipos de instalaciones calefactoras, formas de irradiación de calor y la elección de un elemento calefactor.

En el capítulo V veremos los métodos de medición de humedad y la utilización del control de temperatura para medir humedad.

El capítulo VI es la recopilación de los cinco anteriores, ya que es en este donde lo anteriormente expuesto toma forma para dar lugar al diseño de nuestro control de temperatura y humedad. También se incluye el Software de control de cada uno de los circuitos utilizados.

En el capítulo VII, trataremos los problemas de voltaje y ventilación.

Finalmente, contamos con un apéndice donde se podrá consultar el programa principal, así como los programas de apoyo (cálculo y gráficas del PID), los circuitos impresos, y la configuraciones básicas de los principales circuitos integrados utilizados.

También tendremos acceso a la lista de material de cada circuito y el nombre de los títulos bibliográficos utilizados.

PROLOGO.

En casi toda la República Mexicana, de Norte a Sur y de Oriente a Occidente, una gran parte de sus pobladores se dedican ya sea por negocio o por placer, a la cría de aves de corral como son las gallinas, guajolotes, codornices, patos, etc., las cuales viven mejor en unas regiones que en otras, según las condiciones climatológicas del lugar en que se encuentran.

Por esta razón no en todas las regiones se pueden criar estas aves y mucho menos instalar granjas avícolas en escala comercial.

De aquí la importancia de la utilización de incubadoras, con lo que la incubación artificial es un factor esencial en la economía de estas personas y asegura un constante abastecimiento de estas aves y sus derivados.

Al adoptar el método de incubación artificial, el factor principal y de mayor importancia es la elección de la incubadora; de las cuales existe una infinidad de marcas, formas, tamaños, y tipos de funcionamiento para elegir la que mejor se adapte a las necesidades y recursos de cada persona.

Sobre la forma de las incubadoras las hay circulares, como cajas, de poco costo y tamaño pequeño, hasta las grandes de tamaño comercial.

Para su funcionamiento se puede emplear aceite, petróleo, carbón, gas o electricidad para proporcionar el calor necesario.

Actualmente, el uso comercial de las incubadoras automáticas es el más popular, restringiéndose su uso por sus alto costo de importación. Debido a esto se siguen utilizando la incubadoras de tipo manual y semi-automáticas lo que trae como consecuencia que todas ellas necesiten un operario para vigilar su correcto funcionamiento, con el consiguiente aumento en gastos de producción por nóminas, salarios, etc.

Visto es que en México no existe una empresa especializada en la construcción de máquinas incubadoras, este trabajo trata de ser enfocado hacia un diseño experimental que se apege en lo posible a los requerimientos en el área de producción avícola.

Es nuestra intención buscar con ello, un prototipo que se adapte a la economía del país y mas aún a la de los pequeños productores.

La característica primordial buscada en este prototipo de máquina incubadora automática es facilitar una adquisición económica a estos productores y una no menos importante es la de reducir los errores cometidos por el elemento humano en el manejo de estas máquinas.

CAPITULO I

PROCESO DE INCUBACION.

Son necesarios 21 días para que se efectúe el desarrollo completo del embrión y nazca el pollito del huevo incubado. Esta cifra de 21 días es el promedio que abarca a la mayoría de los huevos incubados de gallinas, teniendo en cuenta que en ciertas ocasiones nacerán pollitos antes de las fechas indicadas, mientras que por el contrario, en otras se producirán pollitos que necesitarán más de 21 días de desarrollo embrionario.

El periodo de incubación, utilizando las máquinas industriales, esta subdividido en dos fases:

1.- Fase de incubación propiamente dicha: que abarca desde el primer día hasta el 18 de incubación, exactamente 432 horas desde que el embrión ha recibido la temperatura adecuada para iniciar su desarrollo.

2.- Fase de nacimiento: que comprende los tres últimos días de desarrollo embrionario, exactamente 72 horas.

LA PREPARACION DE LA INCUBADORA.

Si es una sola, la incubadora que se utiliza durante todo el tiempo, es una necesidad ineludible limpiarla en términos absolutos y desinfectarla con la anticipación necesaria al

tiempo en que se da principio a la estación de incubación.

También se tiene que limpiar y desinfectar inmediatamente después de cada incubación.

La limpieza de la incubadora se hace sacando las charolas especiales para colocar los huevos y toda la basura y substancias que quedan como remanentes de la previa incubación.

Las charolas y el exterior de la incubadora deben saturarse con una solución desinfectante comercial.

Los termómetros deben ser probados y verificados con el objeto de estar seguros de que registran las temperaturas en forma correcta.

Deben nivelarse las incubadoras y el sistema que produce calor ha de probarse con el objeto de tener la seguridad de que carece de defectos mecánicos.

EL CONTROL DE LA TEMPERATURA.

La temperatura que se recomienda para obtener la más alta incubabilidad, tiene ligeras variaciones, determinadas por los factores: tipo de incubadora, humedad relativa del aire y ventilación.

La temperatura óptima para la primera semana, en máquinas incubadoras de aire estacionario o quieto, es de 38.2 a 39.4 grados centígrados, cuando el bulbo del termómetro se encuentra al nivel de la parte superior de los huevos en la charola.

Se recomienda que la temperatura se haga descender a 38.8 grados centígrados, durante la segunda y tercera semana y a 37.7 o bien a 38.3 grados a partir del decimoctavo día hasta el final de la incubación.

La temperatura recomendada en las incubadoras en las que el aire penetra forzado, es generalmente de 37.5 a 37.7 grados durante todo el período completo, si los huevos se incuban y los pollitos nacen en la misma máquina.

De acuerdo con las indicaciones del centro de investigación avícola nacional en Beltsville Maryland, EEUU, la temperatura mínima en la incubación es de 37.7 grados cuando la concentración de oxígeno es del 21%, la del dióxido de carbono en el contenido del aire es inferior al 0.5%; cuando el movimiento del aire es a través del exterior de los huevos tienen una velocidad de 13 cm/min, y cuando la humedad relativa del aire se mantiene al 60%.

Las altas temperaturas aceleran el desarrollo del pollito y originan nacimientos prematuros; también causa desarrollos anormales de los embriones, con disminución de la incubabilidad.

A la inversa, las bajas temperaturas retardan el desarrollo de los embriones, lo que se traduce en incubaciones retardadas; en embriones anormales y porcentaje bajo de la incubabilidad de los huevos.

EL CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE.

Como ya quedo expuesto, existe una relación definida entre la humedad relativa del aire en el interior de la incubadora y la temperatura. Los huevos incubados con baja temperatura y condiciones de alta humedad relativa del aire, pueden incubar al mismo tiempo que otros a baja humedad relativa y alta temperatura.

Con la temperatura controlada en forma tal que permanezca constante a 37.7 grados centígrados, la óptima humedad relativa es de 60%; cuando esta alcanza porcentajes del 80 al 90% a la misma temperatura de 37.7 grados, la incubación puede completarse en solo 20 días.

Cuando la humedad relativa cae por debajo del 40% y la temperatura se mantiene en 37.7 grados la incubación puede requerir de un día adicional.

Tanto la alta como la baja humedad relativa son causa de que el pollito nazca más pequeño de lo debido.

VENTILACION.

La ventilación es muy importante para obtener buenas incubaciones. En cualquier lugar en que el oxígeno del aire, reduce su porcentaje a menos del 21%, o el bióxido de carbono excede el 0.5%, con toda probabilidad se obtienen malas incubaciones.

Una reducción del oxígeno del aire en un 5%, puede hacer que el nacimiento de los pollitos disminuya en una tercera parte.

Si el contenido de anhídrido carbónico en el aire, alcanza el 2%, el hecho se traduce en una alta mortalidad de los embriones. Desde el momento en que el contenido de oxígeno del aire es solamente del 21%, es importante que el sistema de ventilación sea ajustado con toda propiedad, para que la incubadora tenga abundancia de aire fresco y con él, oxígeno.

CONSUMO DE OXIGENO DURANTE LA INCUBACION.

Durante el proceso de incubación, los huevos han de recibir la cantidad de oxígeno que precisan para el normal desarrollo de sus funciones metabólicas.

Por cada 10,000 huevos en incubación, se consume diariamente 3.5 Kg de oxígeno, se producen 2.8 a 4 Kg de anhídrido carbónico, 4 Kg de agua y 5,045 calorías.

De estas cantidades, la mitad se producirán por los huevos en los últimos 3 días de incubación y la otra mitad ocurre en los primeros 18 días de incubación.

Según este criterio, se precisa un mínimo de 9 metros cúbicos por hora de aire fresco por cada 1,000 huevos en incubación.

EL VOLTEO DE LOS HUEVOS.

Durante todo el proceso de incubación, es decir, los primeros 18 días de desarrollo embrionario, es necesario variar la posición de los huevos 40 grados a la derecha y 40 grados a la izquierda, cada periodo de tiempo.

De no efectuarse dicha operación denominada volteo, la mortalidad embrionaria por malposiciones aumentaría considerablemente.

El movimiento a derecha e izquierda del huevo hace que el embrión vaya adquiriendo las posiciones adecuadas y se sitúe de la manera precisa para picar la cámara de aire y la cáscara; de no moverse el huevo, - movimiento que ya efectúa la gallina normalmente cuando incuba los huevos en el medio natural -, el embrión queda en una posición inadecuada y no puede alcanzar la cámara de aire muriendo asfixiado.

La frecuencia de volteo en las máquinas de incubación será más o menos de 2 a 3 horas, repartíendose rítmicamente durante todo el proceso.

CAPITULO II

CONTROLES AUTOMATICOS.

El control automático en las últimas décadas ha tenido un papel importante en los avances tecnológicos y científicos. El control automático se ha convertido en parte integral en los procesos de manufactura industrial moderna, así como en los lanzamientos espaciales, guiando naves, misiles y en sistemas de pilotaje en aeronaves.

El control automático ha logrado brindar medios para el funcionamiento óptimo en sistemas dinámicos, al mejorar la calidad y abaratar costos de producción, expandir los volúmenes y acelerar el ritmo de la producción, al liberar de diversas rutinas complejas, de procedimientos repetitivos, etc.

Un control automático elimina cualquier error humano de operación, y esto es de gran ayuda a los factores antes mencionados. En síntesis, una operación la cual necesite precisión debe constar de un control automático.

Un sistema de control realimentado es aquel en el que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción del control. Es decir que el error actuante, va a ser la diferencia entre la señal de entrada y la de realimentación (que puede ser la señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas), esta señal entra directamente al detector o control

de manera de reducir el error y llevar la salida del sistema al valor deseado.

Esto también es conocido como control de lazo cerrado lo que implica el uso de la realimentación para reducir el error del sistema.

Dicho de otra forma, un control automático compara el valor efectivo de la salida de un equipo con el valor deseado, determinando la desviación y generando la señal de control la que reduce la desviación a cero o a un valor pequeño. Esta señal de control recibe el nombre de ACCION DE CONTROL.

En la vida diaria encontramos una diversa cantidad de sistemas de control realimentado ya sea en la industria o en el hogar, por ejemplo, todos los servomecanismos (un servomecanismo es un sistema de control realimentado en el cual la salida puede ser una variable de posición, velocidad o aceleración mecánica), como los refrigeradores, calentadores automáticos de agua, sistemas de calefacción, etc.

Las ventajas de un sistema de control realimentado es que la realimentación hace que el sistema y su respuesta sea relativamente insensible a perturbaciones externas y variaciones internas de los parámetros del sistema. Por lo cual es posible utilizar componentes relativamente de poca precisión, pero económicos y aún así lograr una exactitud de control requerida por determinado equipo o diseño.

La estabilidad en el sistema es un problema con el cual se debe tener cuidado, por la tendencia del control realimentado a sobrecorregir errores, lo que en ocasiones produce oscilaciones de amplitud constante o variable, lo cual nos lleva a la conclusión que todo control realimentado debe ser estable.

La estabilidad absoluta debe tener una estabilidad relativa razonable, es decir, que la velocidad de respuesta debe ser razonablemente rápida y con un amortiguamiento rápido, además de poder reducir a cero o a un valor tolerablemente pequeño a los errores, cualquier control debe satisfacer estos requisitos.

De acuerdo con la acción de control, los controles automáticos se clasifican de la sig. forma:

Control de dos posiciones o de si-no
Control proporcional
Control Integral
Control Proporcional Integral
Control proporcional Derivativo
Control Proporcional Integral Derivativo

Además podemos hacer una subclasificación dependiendo de la fuente de alimentación en :

Control Neumático
Control Hidráulico
Control Electrónico

Control de dos posiciones o de signo. En este control el elemento accionador tiene dos posiciones fijas que en muchos casos son simplemente conectando y desconectando.

Este control es relativamente simple y económico por lo que es ampliamente utilizado en sistemas de control tanto industriales como domésticos.

Sus relaciones son:

$$m(t) = M1. \quad \text{si } e(t) > 0$$

$$m(t) = M2. \quad \text{si } e(t) < 0$$

donde $m(t)$ es la señal de salida y $e(t)$ es la señal de error actuante.

$m(t)$ tiene un valor máximo o mínimo, dependiendo de que la señal $e(t)$ sea negativa o positiva. $M1$ y $M2$ son constantes.

Los controles de dos posiciones pueden ser generalmente eléctricos o neumáticos.

Control Proporcional. La relación en la salida del control $m(t)$ y la señal de error actuante $e(t)$ es:

$$m(t) = K_p e(t)$$

o en magnitudes de transformada de Laplace,

$$M(s)/E(s) = K_p$$

donde K_p es la sensibilidad proporcional o ganancia.

Independientemente del mecanismo en sí, y la fuente de alimentación el control proporcional es esencialmente un amplificador con ganancia ajustable.

Características.

- * Actúa sobre la velocidad de respuesta del sistema.
- * Presenta errores en estado estable.
- * Puede dar lugar a oscilaciones si K_i es excesivamente grande.

Control Integral. En este control, el valor de salida $m(t)$ del control varía en relación a la señal de error actuante $e(t)$, es decir:

$$dm(t)/dt = K_i e(t)$$

o

$$m(t) = K_i \int e(t) dt$$

donde K_i es una constante regulable. La función de transferencia es:

$$M(s)/E(s) = K_i/s$$

El control integral también es conocido como control de reposición.

Características.

- * Elimina el error en estado estable.
- * Lleva una estadística de los errores producidos por el sistema.
- * Puede producir oscilación si K_i es mayor que uno.
- * Si el error aumenta al doble, la señal de error actuante varía dos veces más rápido.
- * Para una señal de error igual a cero, la señal de error actuante permanece estacionaria.

Control Proporcional Integral (PI). Esta definido por la siguiente ecuación:

$$m(t) = K_p e(t) + (K_p/T_i) \int e(t) dt$$

Su función de transferencia es:

$$M(s)/E(s) = K_p (1 + 1/(T_i s))$$

donde K_p es la sensibilidad proporcional o ganancia y T_i es el tiempo integral. Tanto T_i como K_p son regulables. T_i regula la acción de control integral, mientras K_p modifica tanto a la parte integral como a la proporcional del control.

A $(1/T_i)$ se le llama frecuencia de reposición, que es el número de veces por minuto que se duplica la parte proporcional del control. La frecuencia de reposición se mide en términos de repeticiones por minuto.

Control Proporcional Derivativo (PD). Esta definido por:

$$m(t) = K_p e(t) + (K_p T_d) d e(t)/dt$$

y su función de transferencia es:

$$M(s)/E(s) = K_p (1 + T_d s)$$

donde K_p es la sensibilidad proporcional y T_d es el tiempo derivativo, estas variables son regulables.

La acción de control derivativo es a veces denominado como Control de velocidad, esto es cuando el valor de salida del control es proporcional a la velocidad de la variación de la señal $e(t)$.

T_d es el intervalo de tiempo en que la acción de velocidad se adelanta al efecto de la acción proporcional.

Mientras la acción de control derivativo tiene la ventaja de anticiparse al control proporcional, tiene la desventaja de que amplifica señales de ruido y puede producir efecto de saturación en el accionador, además nunca se puede obtener una acción de control derivativo sola, por lo que este control es efectivo únicamente durante periodos transitorios.

Control Proporcional Integral Derivativo (PID). La combinación de los efectos de Acción Proporcional, Integral y Derivativa, se conoce como "PID".

Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales.

La ecuación del PID está dada por:

$$m(t) = K_p e(t) + (K_p T_d) \frac{d e(t)}{dt} + (K_p/T_i) \int e(t) dt$$

Su función de transferencia es:

$$M(s)/E(s) = K_p (1 + T_d s + T_i/T_1 s)$$

donde K_p es la sensibilidad proporcional, T_d es el tiempo derivativo y T_i es el tiempo integral.

Características.

- * Respuesta rápida.
- * Oscilación reducida.
- * Eliminación del error en estado estable.
- * Sobrepassos pequeños o nulos.
- * Elaboración complicada del algoritmo.

Para este diseño es posible elegir una función con cierto grado de complejidad y obtener así mayor eficiencia, debido a que se empleará para su elaboración un microprocesador Z80 con el cual es posible realizar evaluaciones numéricas complejas a alta velocidad y con gran precisión característica ausente en los sistemas de control usados en incubadoras actualmente.

Analizando las características de las funciones enumeradas se observa que cada una de ellas poseen desventajas intrínsecas que limitan la eficiencia del dispositivo al emplearlas individualmente.

Por tanto es recomendable utilizar una función compuesta, formada por tres de estas funciones y así lograr que cada una contribuya con sus ventajas y nulificar las desventajas, dicha función constará de las acciones proporcional, integral y derivativa (PID).

CONVERTIDORES ANALÓGICO-DIGITAL.

En muchas aplicaciones se requiere de convertir una señal analógica a una forma digital. En la mayoría de los casos resulta más conveniente efectuar las funciones de regulación y control de sistemas mediante técnicas digitales, sin embargo en muchos casos la señal disponible es analógica, ya que son muchos los transductores que poseen una salida eléctrica analógica, correspondiente a la magnitud medida, como pueden ser las señales de audio, puentes de medida, galgas extensométricas, fotomultiplicadores, etc.

Ello obliga a tener que efectuar una conversión analógica-digital que en otros casos, por ejemplo, permitirá la transmisión digital de una señal analógica lo que así mismo permitirá minimizar la distorsión producida por las imperfecciones del sistema de transmisión. Existen un gran número de métodos obtenibles para este tipo de conversión y en esta sección se discutirán algunos de estos tipos.

CONVERTIDORES A/D DE SIMPLE RAMPA.

La conversión digital resulta más simple utilizando métodos indirectos, transformando la variable de entrada en una variable intermedia. Esta variable intermedia puede ser el tiempo, efectuando una integración de una tensión de referencia, generando una rampa hasta alcanzar el valor de la tensión de entrada.

La figura 2.1 muestra el esquema básico de un convertidor A/D de simple rampa, constituido por una fuente de corriente lo que carga un condensador al iniciarse cada ciclo de conversión, generando una tensión de rampa.

Al mismo tiempo se inicia el conteo de los impulsos obtenidos de un oscilador que finaliza cuando la rampa generada alcanza el valor de la tensión de entrada V_x lo cual es detectado por el comparador. Antes de iniciar cada ciclo de integración, el contador es puesto a cero.

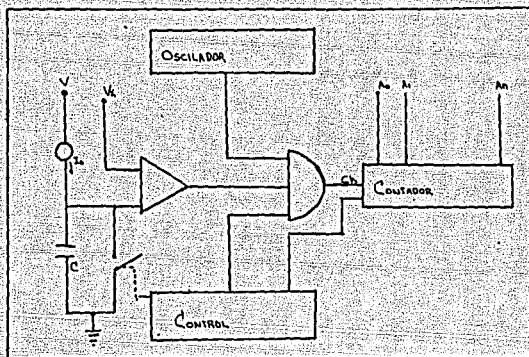


FIG. 2.1 Convertidor A/D de Simple Rampa.

La magnitud alcanzada por el contador al final de cada ciclo será:

$$N = f \cdot T$$

siendo f la frecuencia del oscilador y T el tiempo empleado por la rampa en alcanzar el valor de la tensión V_x , con lo que resulta:

$$N = [(f \cdot C) / I_0] \cdot V_x$$

con lo que la tensión digital N es función de la tensión V_x de entrada, y de f , C e I_0 como parámetros internos del convertidor.

Este tipo de convertidores se caracteriza por su simplicidad, a costa de su lentitud, debido al tiempo necesario para efectuar la integración y a su limitada precisión, debido a la dependencia de la lectura al valor de la capacidad C , de la corriente I_0 y de la frecuencia del oscilador.

CONVERTIDOR A/D DE DOBLE RAMPA.

Para aumentar la precisión de los convertidores A/D de rampa descritos, puede efectuarse una doble integración, lo que permitirá eliminar los errores debido a las variaciones de la capacidad (C), a las posibles fluctuaciones de la frecuencia (F) y conseguir además una mayor insensibilidad a las tensiones parásitas que pueda contener la entrada V_x .

El principio de funcionamiento de un convertidor A/D de doble rampa consiste en efectuar una primera integración durante un tiempo constante de la tensión V_x , para efectuar después una segunda integración de una tensión de referencia, hasta alcanzar nuevamente el nivel inicial.

Para ello, la entrada del integrador del convertidor debe poder ser conmutada alternativamente con la tensión de entrada, o con la tensión de referencia.

El valor V_h alcanzado por la rampa durante el primer período de integración será:

$$V_h = [t_0 / RC] * V_x$$

Durante el segundo período, este valor alcanzado, decrecerá hasta el nivel cero volts al cabo de un tiempo t , comprobándose:

$$V_h = [t_0 / RC] * V_{ref} = [N / RC] * V_{ref}$$

Siendo N el número de impulsos del oscilador de período T contados durante el tiempo T_x de la segunda integración.

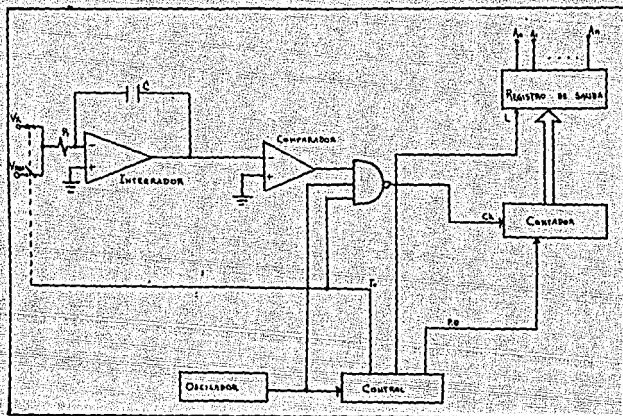


FIG. 2.2 Convertidor A/D de Doble Rampa

CONVERTIDORES DIGITAL/ANALÓGICO.

Gran variedad de dispositivos físicos generan una diversidad de señales analógicas o continuas. Ejemplos de estos son los transductores de temperatura, presión y flujo.

En la tecnología actual, el procesado de señales se realiza utilizando métodos digitales, y dicha señal es después convertida para regresar a su forma analógica.

Muchos diferentes tipos de convertidores de datos de la forma de una interface entre mecanismos analógicos y sistemas digitales pueden ser desarrollados.

Estos convertidores son usados en una amplia variedad de aplicaciones, incluidos procesos automáticos de control, medición y prueba, datos telemétricos, etc.

A continuación veremos en forma breve algunos tipos de convertidores Digital / Analógicos.

CONVERTIDOR D/A DE RESISTENCIA PONDERADA.

En la figura 2.3 se representa una malla de resistencia pasiva, la cual convierte una palabra digital paralela de 4 bits (A_3, A_2, A_1, A_0) a un voltaje analógico, el cual es proporcional al número binario representado por una palabra digital.

Si la palabra digital es de la forma serie, un traductor de registro (Shift Register) puede ser usado para convertirlo a la forma paralela. Esta palabra de 4 bits es usada únicamente para propósitos ilustrativos, puesto que la extensión a más de 4 bits es fácilmente realizada.

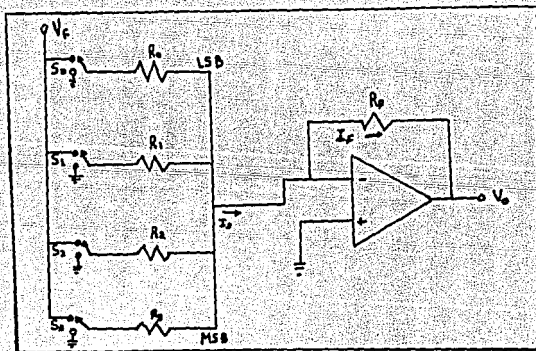


FIG 2.3 Convertidor D/A de Resistencia Ponderada

Los voltajes lógicos, los cuales se representan con los bits A3, A2, A1 y A0 no son aplicados directamente al convertidor, pero si son usados para operar los interruptores electrónicos S3, S2, S1 y S0, respectivamente.

Cuando cualquiera de las "A" es uno lógico, el interruptor correspondiente es conectado a un voltaje de referencia Vr; cuando una "A" es cero lógico, el interruptor es conectado a tierra.

Las resistencias de la malla son ponderadas, esto es que, las resistencias sucesivamente se realizan por un factor de 2 y las resistencias individuales son inversamente proporcionales a el número significativo del dígito binario apropiado.

Así para el convertidor de 4 bits tenemos:

LSB	$R_0 = R/2^1 = R$
	$R_1 = R/2^2 = R/2$
	$R_2 = R/2^3 = R/4$
MSB	$R_3 = R/2^4 = R/8$

donde R es una resistencia arbitraria, la cual puede ser elegida hasta el nivel de la impedancia de malla.

CONVERTIDOR D/A DE ESCALERA R-2R.

En la producción de convertidores integrados D/A es extremadamente difícil la manufactura de resistencias exactas de valores que difieren mucho. La ponderación de los bits suele ser efectuada por divisiones sucesivas de tensión utilizando una red

de escalera. La figura 2.4 representa un convertidor D/A resistivo de escalera, el cual no requiere un amplio rango de valores de resistencia.

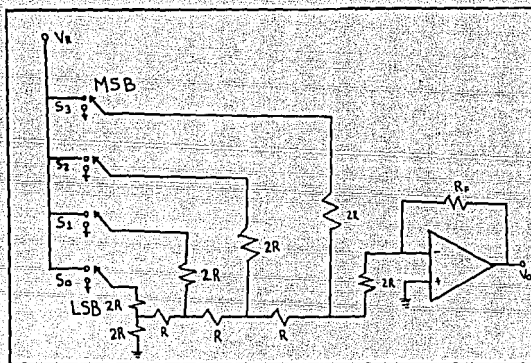


FIG 2.4 Convertidor D/A de Escalera R-2R

En efecto se requiere solo dos valores de resistencia, R y $2R$. La escalera de resistencias es obtenible en un solo C.I.

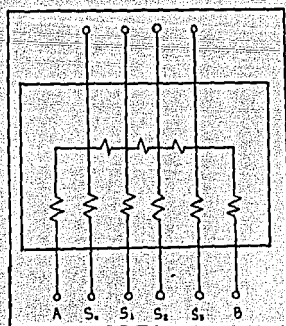


FIG 2.5 Escalera de Resistencias (C.I.)

ACLARACION.

Las señales eléctricas utilizadas en la mayoría de los transductores son analógicas por naturaleza y si dichas señales se quieren procesar con equipo digital, es necesario convertir la información original a digital por medio de un convertidor A/D. Existen varios convertidores A/D que funcionan por comparación de un voltaje de referencia variable y un voltaje de entrada.

También es necesario comentar que un convertidor D/A puede ser considerado como dispositivo de salida de corriente o voltaje, observando que su salida está en proporción directa con el valor digital de entrada expresado en código binario.

Para seleccionar un convertidor D/A de 8 bits, normalmente se consideran las siguientes características:

RESOLUCION. Describe el menor cambio posible que se puede producir en el voltaje de salida del convertidor D/A.

EXACTITUD. Describe el peor caso de desviación del voltaje de salida de un convertidor D/A con respecto a una línea recta dibujada entre cero y el máximo valor de la escala.

LINEALIDAD. Describe la desviación de una curva de transferencia lineal entre el código digital y la escala de la salida analógica.

ERROR DE CERO. Se define como voltaje de salida del convertidor D/A para lo cual el código de entrada es cero.

TIEMPO DE ESTABLECIMIENTO. Es el intervalo comprendido entre la transición de un código y el instante en que la salida del convertidor D/A alcanza el valor final.

VELOCIDAD DE CAMBIO. Es la velocidad en la cual un convertidor D/A puede efectuar conversiones repetitivas de datos, especificando el número de repeticiones por segundo.

Después de haber definido los principales parámetros usados para una buena selección de un convertidor, podemos decir que el circuito integrado que utilizaremos es un 1408 el cual es un convertidor D/A por multiplicación de 8 bits.

Este circuito integrado se usa para obtener una corriente de salida como resultado de un voltaje analógico de entrada y una palabra digital de 8 bits.

Utiliza una escala R-2R la cual divide la corriente de referencia en valores relativos binarios los cuales alimentan a los conmutadores. Existe una corriente residual derivada y la máxima corriente de salida es 256 partes de la corriente de referencia. En la terminal 14 del convertidor existe un amplificador de referencia el cual provee un voltaje de referencia que es convertido en una corriente y un circuito de inversión para alimentar la escala.

El 1408 provee aumentos de corriente para cada incremento de la palabra binaria.

CONVERTIDOR A/D DE CONTADOR CONTROLADO.
(DE ESCALERA)

Uno de los más simples métodos de conversión A/D es el mostrado en la figura 2.6

Este usa tres elementos importantes, un contador, un convertidor D/A y un comparador analógico. Para mayor simplicidad, el control lógico puede omitirse del diagrama.

Este convertidor opera como sigue: en el comienzo de una parte el contador es repuesto (reset) a cero, esto produce un voltaje de salida del D/A de $V_b = 0$, el cual es aplicado a una entrada del comparador.

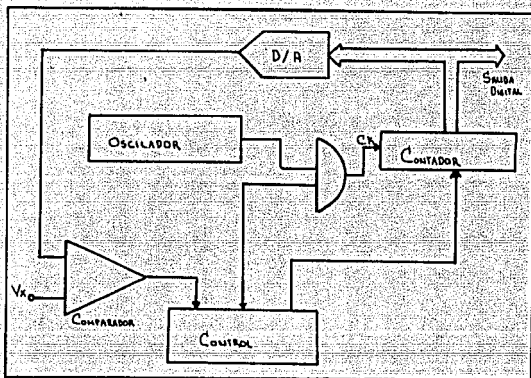


FIG. 2.6 Convertidor A/D de Escalera

La entrada analógica es alimentada a ambos circuitos por un simple circuito retén (hold) cuya salida V_a es aplicada a la otra entrada del comparador. V_b es tan grande cuanto larga sea la señal analógica V_a , la salida del comparador puede ser uno y la

puerta AND puede ser rehabilitada, ligando los pulsos de reloj a la entrada del contador. El contador puede entonces contar hacia arriba (ascendentemente) iniciando en cero.

Esto produce un voltaje de salida en el D/A de V_b que se incrementa por pasos de voltaje, como se representa en la figura 2.7. Este contador permanece continuo hasta que la onda de forma de escalera excede el valor de la señal analógica V_a .

En este momento la salida del comparador cae a cero, deshabilitando la puerta AND, por lo que aquí se detiene el contador. La salida es, entonces, leída desde las terminales de salida del contador.

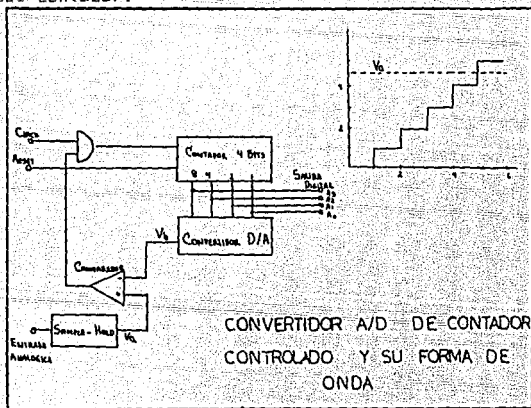


FIG 2.7

Este tipo de convertidor es comparativamente más lento puesto que los periodos de reloj requeridos para la conversión pueden ser muchos (15 para un convertidor de 4 bits) debido a que dichos periodos están en función de la expresión $2^{*(N-1)}$.

El tiempo de conversión puede ser reducido si se usa un contador ascendente-descendente (up-down) y se arregla el convertidor para que cuente hacia arriba cuando $V_b < V_a$ y que cuente hacia abajo cuando $V_b > V_a$. En este caso el contador opera el control del contador en modo Up-Down.

En la realización de dicho circuito, de este tipo de convertidor, la lógica adicional requerida controla el tiempo de retención (time hold) del circuito muestreador-retenedor y proporciona sincronización del reloj, repone (reset) y retiene señales (hold-signal).

MICROPROCESADORES.

Un microprocesador es un dispositivo que contiene las funciones equivalentes a la unidad de procesamiento central (CPU) de un computador pequeño. Por tanto, éste es capaz de realizar las funciones básicas del computador y se puede integrar en los diseños del sistema donde se requieran tales funciones.

El dispositivo microprocesador probablemente ha hecho un impacto mucho mayor sobre la industria electrónica que cualquier otro desarrollo simple desde el primer circuito integrado.

Los sistemas diseñados para usar microprocesadores son los más simples para todos los casos, generalmente más baratos para diseñar y producir, más confiables, más pequeños físicamente, consumen menos energía y son propiamente más flexibles que un diseño que usa dispositivos lógicos pequeños.

El microprocesador tiene que estar capacitado para las funciones aritméticas y lógicas, el manejo de datos y las funciones de control, todo de acuerdo a las instrucciones que se suministran a éste en cualquier tiempo.

Asociado con el diseño del microprocesador hay una serie de instrucciones a las cuales el dispositivo reconoce y responde. Para suministrar estas instrucciones al microprocesador en una secuencia particular, el sistema se puede hacer para llevar a cabo una tarea especial.

El microprocesador responde a las instrucciones en el programa, y de acuerdo con estas realiza sus funciones básicas en los datos en la memoria y en las entradas y salidas del sistema.

Un sistema basado en el uso de un microprocesador ofrece una cantidad de ventajas al ingeniero de diseño y de producción, a saber:

- * Menor tamaño.
- * Menor costo.
- * Mayor confiabilidad y flexibilidad.
- * Componentes estandarizados.
- * Menor tiempo en el ciclo de diseño.

La elección de un microprocesador para una aplicación dada o gama de aplicaciones puede aparentar ser una tarea muy compleja. En realidad, de cualquier forma, esto es directamente.

De los microprocesadores disponibles actualmente hay grupos distintos, separados por ciertos parámetros mayores.

Por lo general estos son:

la velocidad de operación, el costo del sistema, capacidad de entrada/salida, el soporte y el suministro secundario.

De cualquier forma, algunos de estos factores están relacionados, por ejemplo, la velocidad de operación con la capacidad de entrada/salida, y la entrada/salida con el costo del sistema.

MICROPROCESADOR Z - 80.

El Z-80 es un microprocesador orientado hacia los registros. Dieciocho registros de ocho bits y cuatro registros de 16 bits dentro del procesador central son accesibles al programador y funcionan como memoria programable estática.

Estos registros se dividen en dos conjuntos, principal y alternativo, cada uno de los cuales contiene seis registros de ocho bits de uso general, que pueden utilizarse bien sea individualmente, bien sea como tres pares de registros de 16 bits. También incluyen dos conjuntos de acumuladores y de registros de estado.

En la figura 2.8 se ilustra la arquitectura interna del procesador central Z-80. Damos además, una breve descripción de cada una de las partes que lo componen.

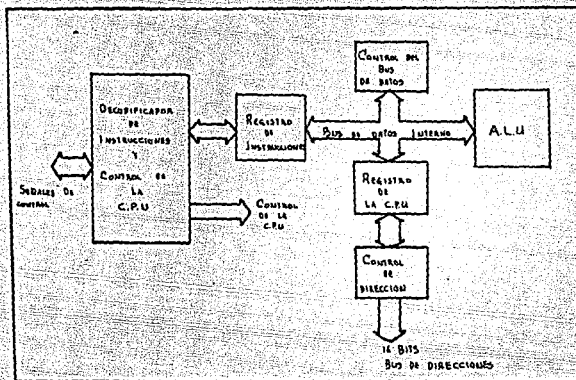


FIG 2.8 Arquitectura Interna de la CPU Z-80

Registro de Instrucciones.

El registro de instrucciones retiene el contenido de la posición de la memoria direccionada por el PC (contador de programa) y se carga durante el ciclo de búsqueda de cada instrucción.

Control del procesador Central.

La unidad de control del procesador central ejecuta las funciones definidas por la instrucción en el registro de instrucciones y genera todas las señales de control necesarias para transmitir los resultados a los registros adecuados.

Unidad Lógica y Aritmética (ALU).

Las manipulaciones aritméticas y las operaciones lógicas se tratan como 8 bits simultáneos en la ALU del Z-80.

La ALU se comunica internamente con los registros del procesador central y no es directamente accesible por el programador. La

ALU realiza las operaciones siguientes:

- * Desplazamiento a izquierda o a derecha.
- * Incremento y Decremento.
- * Operaciones Aritméticas.
- * Operaciones lógicas.
- * Prueba de bits.
- * Comparación.

CAPÍTULO III

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN CONTROL DE TEMPERATURA.

En forma general, todos los reguladores de temperatura funcionan con un mismo principio. Un "sensor" proporciona información acerca de la temperatura a la que se encuentra sometido el sistema (temperatura real) y la indicación de este sensor se compara con la temperatura de referencia deseada.

Si la temperatura real es mayor o menor que la temperatura de referencia, entonces la etapa encargada de la entrega de potencia al elemento calefactor reduce o aumenta respectivamente la potencia suministrada a dicho elemento.

En primer lugar es necesario contar con un elemento sensor que se adecúe a las características especificadas por el sistema.

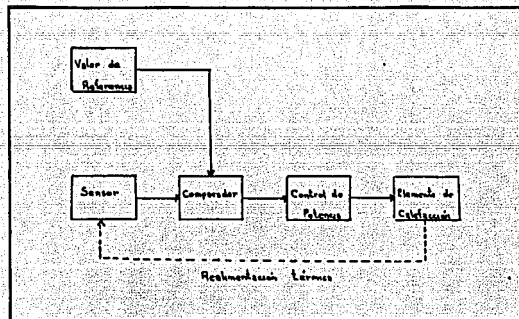


FIG 3.1 Principio de Funcionamiento de un Control de Temperatura

Después, este sensor debe tener un circuito de apoyo, los cuales conjuntamente reciben el nombre de transductor, el cual proporciona la información requerida por el sistema. El valor de referencia será proporcionado al comparador por medio de Software.

El comparador, que es la parte vital del dispositivo se implementará posteriormente a través del software, logrando con ello una gran versatilidad de esta etapa, además, el software contendrá al algoritmo del control proporcional integral derivativo (PID), el cual decidirá la cantidad de potencia y el tiempo de entrega de la misma.

En seguida se necesitará de un circuito de apoyo el cual se encargará de entregar la potencia necesaria al elemento calefactor, de acuerdo al algoritmo de control PID.

El primer problema que se plantea en la implementación del control de temperatura, es la determinación del tipo y características del elemento sensor, además de su circuito de apoyo poniendo especial interés en que el sistema sea compatible con el transductor.

Nota: Un transductor es un elemento que transforma un tipo de energía en otro diferente. Como ejemplo práctico podemos citar un micrófono, que convierte la energía acústica en energía eléctrica, un altavoz (energía eléctrica en acústica), etc.

Concentraremos nuestra atención sobre los 5 transductores de temperatura más comunes:

Los termocoples, el termistor, el RTD, el sensor de circuito integrado y el diodo de estado sólido.

ELEMENTOS SENSORES.

La investigación de combustibles sintéticos, la conversión de la energía solar y el desarrollo de nuevas máquinas, son algunas de las disciplinas que responden al problema de disminución de los recursos naturales.

Puesto que toda industria presenta nuevo énfasis sobre la eficiencia de la energía, la fundamental medida de las temperaturas asumen nueva importancia.

El propósito de esta aplicación es explorar las técnicas más comunes de medir temperatura e introducir procedimientos para mejorar su exactitud.

TERMOCOPLES.

Cuando dos alambre compuestos de diferentes metales son unidos en ambos extremos y uno de ellos es calentado, se crea un flujo de corriente continua en el circuito termoeléctrico.

Este descubrimiento lo hizo Thomas Seebeck en 1821.

El conjunto recibe el nombre de Termopar o par termoelectrico.

Si se mantiene (T1) a una temperatura conocida, midiendo (V) se puede hallar la temperatura desconocida (T2).

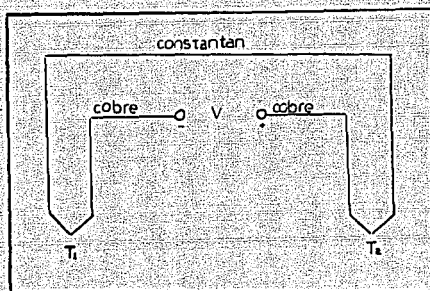


FIG 3.2 Termocople Cobre-Constantan.

La unión a temperatura (T_1) recibe el nombre de unión de referencia, ya que se mide (T_2) respecto a (T_1).

La aparición de esta tensión proporcional a la diferencia entre temperaturas se llama efecto Seebeck y la constante de proporcionalidad (α) se denomina constante termoelectrónica.

CARACTERISTICAS DE TERMOPARES.

TERMOPAR	LETRA DE COD.	CTE. TERMOELEC.
Cobre-Constantan	T	42.4 μ /c
Hierro-Constantan	J	52.8 μ /c
Cromel-Constantan	E	63.0 μ /c
Cromel-Alumel	K	41.0 μ /c
Platino-Platino/radio 10	S	64.3 μ /c

Entre los materiales empleados comúnmente para la unión de los termopares se tienen el hierro, el cobre, el platino, y

diversas aleaciones (como la del Platino - Radio (90 % Pt - 10 % Rh) , Cromel (90 % Ni - 10 % Cr) , Alumel (94 % Ni - 2 % Al Mn - 1 % Si) y Constantan (50 % Cu - 40 % Ni) .

Con estos materiales se obtienen los pares de mayores valores de la constante termoeléctrica.

En la tabla anterior, se mencionan algunos de los termopares más comunes. También aparece la letra con que se identifica cada par.

Los termopares más empleados son los de Cobre-Constantan y Cromel - Alumel.

Los pares de Platino son excesivamente caros y solo se utilizan cuando los otros no son adecuados. La constante termoeléctrica que figura en la tabla solo es válida en el intervalo de 0 a 100 grados centígrados.

En realidad (α) es función hasta cierto punto, de la temperatura y para un par dado puede existir una variación hasta el 10 % de los extremos de temperatura de utilización.

En la práctica, se toma como temperatura de la unión de referencia el valor 0 grados centígrados, que se consigue fácilmente en el laboratorio con un baño isotérmico de mezcla de agua y hielo.

En la mayoría de los casos, en el propio laboratorio hay que fabricar las uniones del termopar utilizando el alambre apropiado.

Este alambre se suministra en calibres desde el número 8 hasta el número 28, según norma AWG.

La elección del diámetro depende fundamentalmente de consideraciones de rigidez mecánica, disipación de calor por el alambre y velocidad de respuesta, ya que la tensión del par no depende de las dimensiones del alambre.

En los casos de menor dimensión el alambre duplex del termopar consiste en dos alambres de distintos colores, para su identificación, contenidos en un mismo forro.

TERMISTOR.

Un termistor es un resistor semiconductor sensible a la temperatura con un coeficiente de temperatura negativo relativamente alto, aunque también existen con coeficientes de temperaturas positivos.

La variación típica de la resistencia con la temperatura es de - 4 % / grado centígrado. Los termistores se emplean para medidas de temperatura, para compensaciones y para control.

Un termistor no es un dispositivo de unión y su funcionamiento no depende de los efectos producidos en una unión PN. Tampoco se fabrican contaminando un material semi-conductor con silicio o germanio.

Se hace una mezcla de tales óxidos metálicos de una forma y tamaño deseado y después se sintetiza calentándola sin llegar a la licuefacción a una temperatura y atmósfera controlada.

Se fijan terminales en zonas metalizadas del termistor, o se introducen en el cuerpo del termistor durante la incrustación. El termistor se suministra sin posterior encapsulado aunque frecuentemente se cubre con una resina o con una película protectora o una capa de vidrio fundido.

Como se deduce del método de fabricación, los termistores pueden fabricarse en una amplia variedad de tamaño, formas y valores de resistencia.

Los primeros termistores no eran de precisión. Era difícil obtener dos termistores que tuviesen la misma resistencia a la misma temperatura.

Incluso, si se conseguía hacerse, la resistencia cambiaba con el tiempo.

Asimismo, dos termistores con la misma resistencia a una determinada temperatura, podrán no tener igual resistencia a otra temperatura, debido a tener variación diferente en su resistencia.

Hoy día, en muchas aplicaciones, los termistores rivalizan con los termopares.

La ventaja principal de los termistores sobre los termopares es la sensibilidad.

Un termopar genera una tensión que depende de los dos metales empleados y que no puede variarse, mientras que un termistor, al ser una resistencia, puede formar parte de un divisor de tensión.

Los termistores tienen también desventajas comparados con los termopares. Necesitan una alimentación externa, ya que ellos no generan tensión.

Sin embargo, a menos que se trabaje en un amplio margen de temperatura, los termopares requieren un amplificador que también necesita alimentación.

Otras características importantes de un termistor son la constante tiempo (Figura 3.3) y la constante de disipación.

La constante de tiempo se define de la forma siguiente:

Si un termistor esta estabilizado a una temperatura (T_1) y se lleva a una temperatura (T_2), su resistencia variará de R_1 a R_2 .

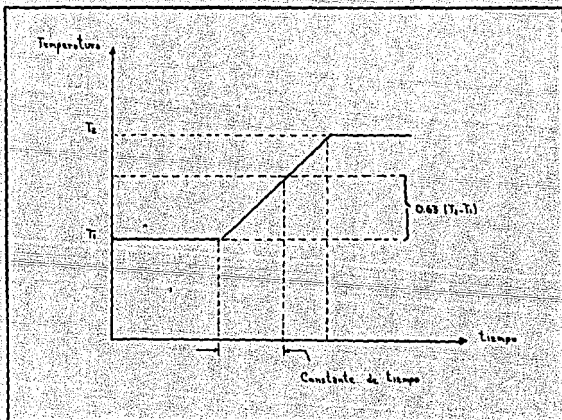


FIG.3.3 Grafica de la Constante de Tiempo de un Termistor.

Teóricamente el tiempo requerido para este cambio de resistencia es infinito, por lo cual este tiempo no puede emplearse.

Entonces, el tiempo que se emplea es el requerido por la resistencia en variar desde el valor que tenía (T_1) hasta el valor que tendrá en $T_1 + 0.63 (T_2 - T_1)$.

La constante de disipación es la potencia necesaria para aumentar la temperatura de un termistor una cantidad dada.

También es función del tamaño, y normalmente se expresa en mV / grado centígrado.

La forma en que un termistor se aplica para medida de temperatura depende de una serie de factores.

Entre ellos se incluye el margen de temperatura que va a medirse, la velocidad de respuesta necesaria, la potencia que puede disipar el termistor, y la linealidad requerida.

RFD.

El mismo año que Seebeck hizo su descubrimiento sobre termoelectricidad, Sir Humphrey Davy demostró que la resistividad de los metales depende marcadamente de la temperatura.

Cincuenta años después, Sir William Siemens propuso el uso del platino como elemento resistivo de un termómetro.

Aun hoy en día, el platino es usado como elemento primario de alta exactitud en resistencias de termómetro.

El detector de temperatura (RTD) es usado hoy en día como patrón de interpolación desde el punto de oxígeno (-182.96 grados) a el punto del antimonio (630.74 grados).

El platino es especialmente usado para este propósito por su resistencia a altas temperaturas manteniendo una gran estabilidad. Como metal noble, muestra susceptibilidad limitada a la contaminación.

El clásico detector de temperatura (RTD) fue construido utilizando platino, y fué propuesto por C.H. Meyer en 1932. Esta es constituido por un arrollamiento en espiral de platino, montado sobre un cruce de mica y un tubo de vidrio como soporte de la unión inferior.

Esta construcción reduce la tensión sobre el alambre en el período de máxima resistencia.

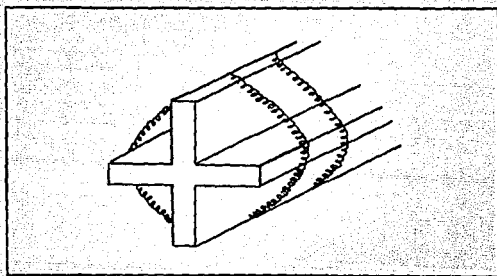


FIG. 3.4 Detector de Temperatura (RTD).

Aunque esta construcción produce un elemento muy estable, el contacto térmico entre el platino y el punto de unión es malo. La fragilidad de la estructura limita su uso en laboratorios estándar.

En otros tipos de laboratorios es utilizado el diseño de Meyer. Este es el jaula de pájaro, propuesto por Evans y Burns. El elemento de platino queda sin soporte, lo cual le permite moverse libremente cuando se expande o se contrae debido a la variación de la temperatura.

Una técnica de construcción más resistente es mostrada en la figura 3.5.

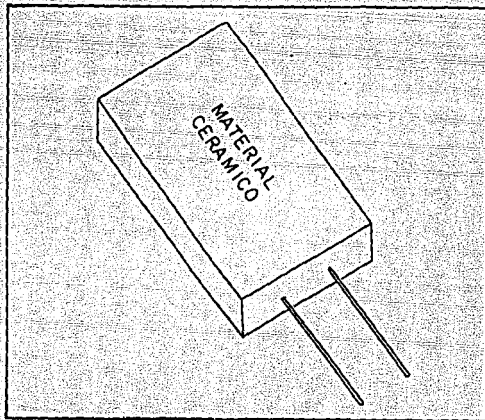


FIG 3.5 Detector de Temperatura (RTD).

El alambre de platino es bifilar, adherida con vidrio o cerámica. El adherimiento bifilar reduce el área efectiva de enrollamiento encerrada, reduciendo las palancas magnéticas.

Antes el alambre era enrollado en bobinas, el ensamble y sellado era hecho a base de una capa de vidrio. El proceso de

sellado aseguraba que el RTD mantiene una integridad bajo vibración extrema y también mantiene un límite en la expansión del metal de platino a altas temperaturas.

A menos que el coeficiente de expansión del platino y la bobina sean un par perfecto, los esfuerzos en el alambre debido a los cambios de temperatura resultan de esfuerzos inducidos en el cambio de resistencia.

Esto da como resultado un cambio permanente en la resistencia del alambre.

SENSOR LINEAL DE TEMPERATURA MONOLITICO.

Una reciente innovación de la termometría es la integración de circuitos transductores de temperatura. Estos son aprovechables en ambas configuraciones con rendimientos de voltaje y corriente. Ambos suministran una salida que es linealmente proporcional a la temperatura absoluta.

Los valores típicos son de $1 \text{ mA} / ^\circ\text{K}$ y $10 \text{ mv} / ^\circ\text{K}$. Ellos ofrecen un rendimiento muy lineal con las temperaturas.

Estos dispositivos comparten todas las desventajas de los termistores. Son dispositivos semi-conductores y por eso tienen una temperatura límite, los mismos problemas de autocalfacción y fragilidad son evidentes.

Estos dispositivos proveen un camino conveniente a la producción de voltaje analógico proporcional a la temperatura.

DIODÓ.

El diodo rectificador semi-conductor es, de todos los tipos de diodos rectificadores, el más utilizado por sus múltiples aplicaciones dentro de la electricidad y la electrónica, bien sea como elemento rectificador de la corriente alterna de la red, como elemento rectificador de alta frecuencia en aparatos de televisión y radio, así como en la transformación de una señal de baja frecuencia, es decir, como elemento detector.

CURVA CARACTERÍSTICA DE UN DIODO SEMICONDUCTOR.

Recibe el nombre de corriente en sentido directo (I_F) a la corriente que circula por el diodo cuando éste presenta la mínima resistencia al paso de la corriente eléctrica.

En la figura 3.6 se representa la curva característica de un diodo rectificador. Obsérvese que en el sentido directo, para tensiones directas bajas (V_F) la resistencia del diodo es también baja, y por lo tanto la corriente en sentido directo es elevada.

Cuando el diodo se opone al paso de la corriente eléctrica, es decir, cuando presenta una elevada resistencia se dice que está conectado en sentido inverso y por él circula una pequenísima corriente de fuga (I_R) aunque la tensión inversa aplicada (V_R) sea elevada.

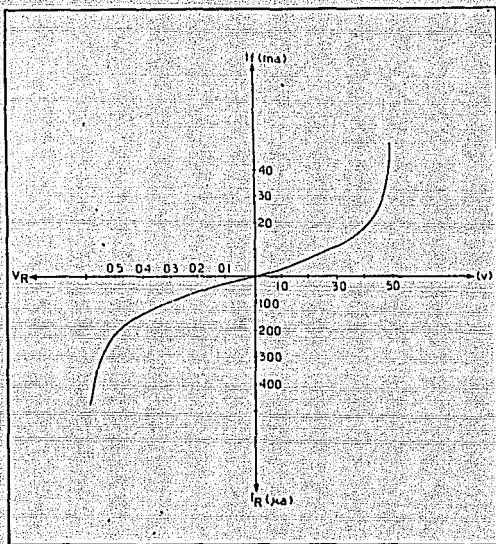


FIG. 3.6 Curva Característica de un Diodo Rectificador.

Como consecuencia de todo ello, la curva característica del diodo semi-conductor tendrá una forma semejante a la representada en la figura anterior y en la que, se puede observar, la característica inversa de la corriente viene expresada en microamperes y no en miliamperes como ocurre con la característica directa.

De la gráfica anterior deducimos que:

1. La curva tiene forma exponencial en las proximidades del cero y se acerca rápidamente al valor máximo admisible a medida que aumenta la tensión directa; es decir, la resistencia del diodo que se opone al paso de la corriente directa es de muy bajo valor y disminuye rápidamente al aumentar la tensión.

2. La corriente inversa aumenta muy lentamente aun en el caso de tensiones muy elevadas. Notese que la resistencia disminuye ante las tensiones muy elevadas, pudiendo llegar a ser nulas e incluso negativas.

Este caso no puede considerarse pues el recalentamiento producido por la resistencia del diodo, al paso de la corriente inversa, puede llegar a destruirlo.

Cuando la tensión inversa correspondiente al codo de la curva característica inversa, sobrepasa el límite en el cual el diodo pasa a ser conductor en sentido inverso, recibe el nombre de tensión de Zener.

El valor de la corriente inversa (I_R) depende mucho en los diodos semi-conductores, de la temperatura de la unión, mayor será el paso de la corriente en sentido inverso como se muestra en la figura 3.7, razón por la cual en ciertas ocasiones es preciso dotar al elemento rectificador de aletas disipadoras de calor.

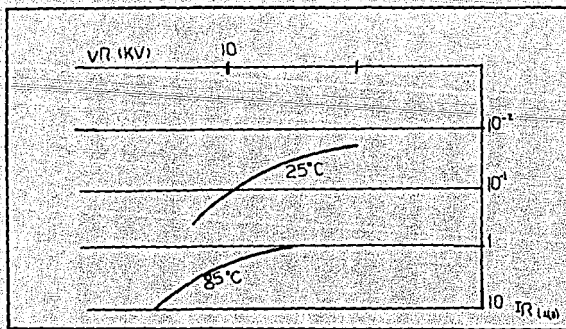


FIG. 3.7 Gráfica de Corriente Inversa.

Algunas de sus aplicaciones son como:
Circuitos rectificadores de media onda, onda completa, sensor.

ELECCION DEL ELEMENTO SENSOR.

Una vez que hemos visto en secciones anteriores y a grandes rasgos las principales características de los elementos sensores, es tarea primordial la elección de el elemento que nos brinde un comportamiento más óptimo.

Para saber cual es dicho elemento, procederemos a comparar su grado de linealidad, desechando de antemano el RTD debido a su alto costo y escasas comercial, el termopar por ser un elemento menos sensitivo que el termistor, así como el sensor de circuito integrado debido a que su configuración es muy limitada.

Realizamos la tabulación bits vs temperatura del termistor y del diodo para obtener la respuesta más lineal.

Los valores obtenidos al tabular la curva Bits vs temperatura son los siguientes:

En el termistor

TEMPERATURA	BITS	TEMPERATURA	BITS
22	0	32	144
24	30	34	170
26	60	36	195
28	89	38	220
30	115	40	224

En el Diodo:

TEMPERATURA	BITS	TEMPERATURA	BITS
17	12	35	172
20	34	40	216
25	80	42	236
30	120		

Las gráficas obtenidas fueron las siguientes:

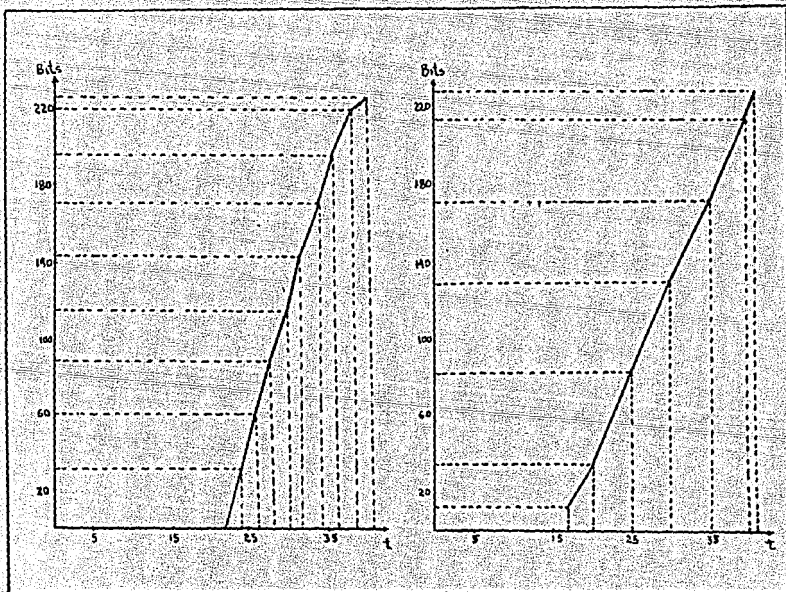


FIG 3.8 (Termistor)

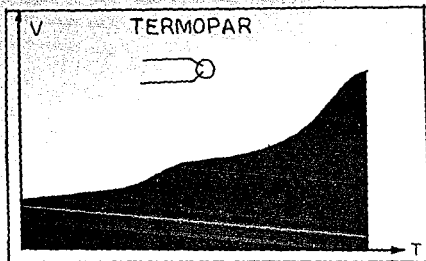
FIG 3.9 (Diodo).

Como podemos observar, a pesar de que la relación I vs R de un termistor no es lineal, para nuestro rango de trabajo es bastante aceptable.

Sin embargo, un problema bastante grande que se detecto en su uso es que el material con el que estan contruidos es de muy baja calidad, ya que dentro de un periodo de uso relativamente corto, éste se degradaba, variando sus cualidades y con ello sus mediciones en aproximadamente 1 o 2 grados.

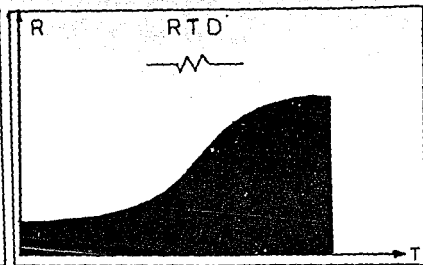
Por el contrario, el uso del diodo nos asegura una linealidad en mediciones de voltaje, además de su bajo costo y variedad de existencia, algo que contrasta notablemente con la escases de los termistores.

Para reafirmar más nuestra posición en la elección del diodo como elemento sensor, basta con observar y analizar las siguientes gráficas y nos daremos cuenta de que en la mayoría de los casos, la respuesta de estos elementos no es lineal.



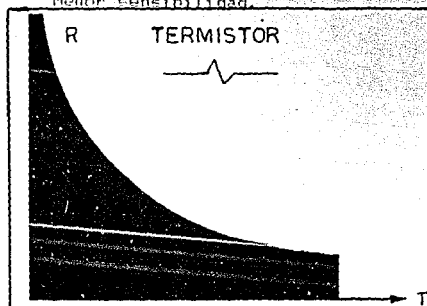
Amplia variedad.
 Amplio rango de temperatura.
 Bajo costo.

No lineal.
 Bajo voltaje.
 Menor sensibilidad.



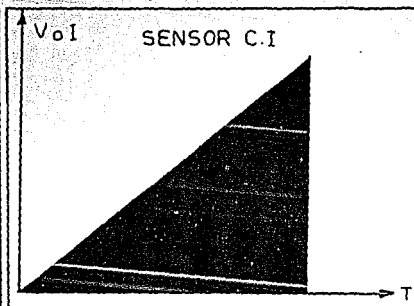
Más estable.
 Más exacto.

Costoso.
 Autocalfacción.



Alta salida.
 Rápido.

No lineal.
 Frágil.
 Rango limitado de temp.



Más lineal.
 Alta salida.

Costoso.
 Lento.
 Autocalfacción.

SISTEMA MICROPROCESADOR.

Es posible catalogar al sistema MKE-Z80 como una computadora aunque debido a su tamaño pueda ser considerado una nano-computadora con las siguientes características:

Microprocesador Z-80.

Memoria Rom de 4 Kbytes (expandible a 8 Kbytes).

Memoria Ram de 6 Kbytes.

Teclado de membrana.

Exhibidor luminoso de 6 caracteres.

Puerto paralelo programable.

El microprocesador Z-80 es el encargado de controlar todos los dispositivos del sistema. El programa monitor se encuentra alojado en los 4Kbytes de memoria Rom; este programa se denomina "Hola" y tiene la función de permitirnos el acceso al sistema; para ello cuenta con dos tipos de comandos que son:

Comando 1. Permite el manejo de la nanocomputadora como tal, es decir, permite el acceso a memoria, registros y puertos, ya sea para examinarlos o bien para modificar su contenido.

Comando 2. Permite hacer uso de programas de ayuda, como son el cálculo de desplazamiento para saltos relativos, el mover bloques de memoria, ejecutar un despliegue automático de memoria o registros, localizar datos de memoria, etc.

Disponiendo de la ayuda del exhibidor luminoso (Display) del nanocomputador MKE-280, es solo necesario construir el circuito del termómetro.

El funcionamiento de este termómetro es como sigue:
Cuando a través del diodo (1N4148) se hace circular una corriente constante, la caída de tensión en el mismo disminuye 2 mV por cada grado centígrado que aumente la temperatura.

El amplificador operacional A1 está dispuesto de tal forma que la tensión en su salida es proporcional a la caída de tensión en el diodo; producida por efecto de la temperatura. La siguiente etapa es un amplificador inversor (A2), diseñado con el objeto de que la tensión de salida (S0) aumente de manera proporcional por cada grado centígrado.

Con el potenciómetro P1 se ajustará el termómetro al valor deseado, el ajuste a realizar es, en nuestro caso, a cero volts con una temperatura mínima de 18 grados, teniendo en cuenta que la incubación de huevos de gallina nunca bajará a esta temperatura, y 10 V con una temperatura máxima de 40 grados.

Este ajuste será suficientemente preciso si se utiliza agua destilada y a la presión atmosférica de 760 mm Hg.

El diagrama de este circuito lo podemos observar en el capítulo VI fig. 6.3

CAPITULO IV

LA INSTALACION CALEFACTORA.

La finalidad de una instalación de calefacción es lograr una temperatura artificial en el interior de un recinto cerrado, que sea más elevada que la temperatura correspondiente al exterior.

Un sistema de calefacción debe presentar, si no todos, gran parte de los siguientes determinantes:

- 1.- Capacidad de calentamiento uniforme.
- 2.- Sencillez de manejo.
- 3.- Rapidez de respuesta.
- 4.- Posibilidad de regular a voluntad el poder calorífico.
- 5.- Funcionamiento automático, que no requiera la constante atención por parte del usuario.
- 6.- Instalación duradera, con poco gasto de entretenimiento.
- 7.- Disminuir cuanto sea posible los espacios que ocupen los elementos calefactores.
- 8.- Evitar el almacenamiento de combustible.
- 9.- Economía en funcionamiento.
- 10.- Economía en instalación.

Todos estos factores se dan, en mayor o menor medida, en los sistemas de calefacción modernos, si bien, como es lógico, el interés del público se decanta hacia aquellas soluciones que juzga como más cómodas y prácticas, y que no siempre son más baratos.

En síntesis, el acondicionamiento de un recinto por medio del calor artificial tiene su comienzo en una fuente de energía que libera la misma convirtiéndola en grados térmicos, fenómeno que tendrá lugar por conducción, convección o radiación, utilizando para su distribución posterior un vehículo apropiado : por lo general, aire, vapor o agua.

La fuente inicial de energía puede ser combustible o electricidad, y el lugar donde se produce la liberación de esta energía, una caldera o calderín apropiado, en el primer caso, para que en su interior se produzca la combustión, o bien, una resistencia metálica en el segundo.

El reparto o transporte de la energía producida se efectúa por tuberías que se llevarán la misma hasta el punto deseado, para terminar en los llamados elementos calefactores, que son los verdaderamente encargados de atemperar la estancia, radiadores, convectores, paneles de superficie caliente, etc.

Para clasificar los distintos sistemas de calefacción puede partirse del combustible empleado, (madera, carbón, gas, petróleo, electricidad, alcohol, etc.), del tipo utilizado por el equipo de distribución (radiador, paneles, convectores, convectores forzados, serpentines impulsores, etc.), o por el medio en que se tiene lugar esta misma distribución (aire, agua, vapor, etc.).

Esto lo veremos con atención mas adelante.

FORMAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

La necesidad de cálculos de flujo de calor en muchos problemas de ingeniería, hace necesario comprender que el estudio de flujo de calor no debe ser subestimado.

El diseño de cualquier sistema de calefacción o enfriamiento se basa principalmente en las características de transferencia de calor en la estructura.

Se tienen dos formas para ganancia o pérdida de calor a través de las paredes y estructuras ; primero , por transmisión a través de la pared del aire de un lado hacia el lado opuesto y , segundo , por fugas de aire caliente o frío dentro de la estructura.

Al existir una diferencia de temperatura, la transferencia de calor puede tomar lugar por conducción, convección, radiación o por alguna combinación de estos procesos.

La conducción es un proceso en el cual el calor es transmitido de una molécula adyacente hacia la otra a lo largo de la trayectoria del fluido, pasando de las moléculas más calientes a las moléculas más frías. Un ejemplo de transferencia de calor por conducción es el caso de una barra de hierro que este siendo calentada por fuego en uno de sus extremos.

En la conducción del calor no se tiene un desplazamiento apreciable de las partículas del material.

La convección es (1) la transferencia de calor entre un fluido en movimiento (líquido o gas) y una superficie, o (2) la transferencia de calor de un punto interior a otro punto interior en un fluido que está en un movimiento que entremezcla las diferentes porciones del fluido.

En la transferencia de calor por convección se tiene, eventualmente, alguna forma de conducción o radiación.

En convección, cuando el fluido se mueve debido a la diferencia de masas específicas resultante de los cambios de temperatura original el proceso es llamado convección natural o convección libre ; y el proceso es llamado convección forzada si el fluido se mueve por medios mecánicos (bombas o ventiladores).

La radiación es un proceso en el cual el cuerpo caliente da energía radiante en todas direcciones. Si a un cuerpo frío le llega esta energía , absorbe algo de ella aumentando su energía interna , y se tiene como consecuencia un aumento en la temperatura.

Algunos medios son diatérmicos, esto es, que son capaces de transmitir energía radiante sin afectarse, y pueden transmitir dicha energía a otro cuerpo. El aire, el vidrio y gases son relativamente diatérmicos; el vapor de agua y el bióxido de carbono absorben energía radiante en cantidades apreciables.

Los cuerpos a temperaturas diferentes, emiten y absorben radiación; pero el más caliente emite más de la que recibe. El resultado neto es una transferencia de calor del cuerpo más caliente al más frío.

SISTEMAS DE CALEFACCION

La clasificación de los diversos sistemas calefactores se basa en el fluido transmisor de la energía liberada en calor. De acuerdo con ello, distinguiremos hasta ocho grupos distintos, cinco que podemos considerar como clásicos y suficientemente experimentados y tres cuyo estudio y puesta en práctica es mucho más reciente.

- a) Calefacción por agua caliente.
- b) Calefacción por vapor de agua.
- c) Calefacción por aire caliente.
- d) Calefacción por resistencia eléctrica.
- e) Calefacción por paneles radiantes.
- f) Calefacción electrónica.
- g) Calefacción termodinámica.
- h) Calefacción por radiación solar.

- a) Calefacción por agua caliente.

En este sistema, el medio transmisor de calor es el agua caliente y su funcionamiento se basa en el hecho de que las diferencias de peso específico, entre el agua caliente y el agua fría, dan lugar a que se establezca una circulación de caudal.

El agua caliente, a través de las tuberías de distribución llega hasta los elementos emisores de calor y cede parte del mismo, para volver al punto de partida, que no es otro que la caldera, a través de la red de retorno y a más baja temperatura.

El sistema más usado es el de baja presión, que proporciona calor uniforme con una temperatura máxima de funcionamiento de 80 a 90 grados centígrados y tiene lugar sin ruido.

Una instalación de calefacción por agua caliente consta, principalmente, de un elemento productor de calor, denominado caldera y de varios elementos emisores del mismo que pueden ser radiadores, convectores o paneles.

Asimismo consta de una larga red de tubería, lo que hace al sistema muy costoso.

b) Calefacción por vapor de agua.

El sistema se diferencia del anterior porque en lugar de agua caliente utiliza vapor a presión generada en la caldera.

La red de circulación, lleva por tuberías el vapor hasta los elementos denominados cambiadores, que por lo general son radiadores, empleando un ventilador para acelerar la circulación y, finalmente, el agua condensada que resulta es devuelta de nuevo a la caldera, en donde comenzará otra vez todo el proceso.

c) Calefacción por aire caliente.

El sistema, también denominado calefacción por aire impulsado, ofrece sobre los precedentes ya descritos, la ventaja de filtrar el aire, renovando el ambiente de los locales sometidos a sus efectos, y adoptando los dispositivos adecuados para ello, permite mantener el grado de humedad necesario en cada caso y convertir la calefacción en un sistema de refrigeración, durante los meses estivales.

Esencialmente, el sistema se puede considerar como una corriente de aire controlada y dirigida que se encargará de caldear las estancias en las que sea descargada, pasando a cumplir la función inversa durante la temporada estival, mediante la creación y distribución de una corriente de aire frío.

El núcleo de un equipo calefactor por aire caliente se halla constituido por un calorífero encargado de elevar la temperatura de una masa de aire sometida a su acción, que luego se hace circular por unas tuberías que distribuirán esa masa de aire caliente hasta los locales que deban recibir sus efectos.

Por lo común existen dos canales de evacuación: uno a nivel del suelo para el aire frío y otro a ras del techo, para el aire caliente, con sus correspondientes persianas graduables.

La circulación del fluido puede tener efecto por la acción natural de la gravedad o bien ser impulsado con el auxilio de un ventilador centrífugo. En el primer caso, el sistema se denomina calefacción de aire por gravedad, y en el segundo, que es el más utilizado modernamente, calefacción por aire forzado.

El calentador puede ser un horno para quemar combustibles sólidos o líquidos, o bien una resistencia eléctrica por la que se hace circular aire.

d) Calefacción por resistencia eléctrica.

Dentro del grupo podemos incluir todas aquellas instalaciones que emplean electricidad para producir calor, por lo general utilizando una resistencia, aunque a veces la misma es sustituida por la llamada bomba del calor. El sistema se denomina electroconvección y los aparatos que funcionan de acuerdo con el mismo, electroconvectores.

La electroconvección caldea por radiación del propio aparato generador, es decir, no puede producir y distribuir la energía calorífica mediante la debida canalización o red distribuidora, como en otros sistemas y, por lo tanto, precisa de un equipo completo en cada dependencia.

Estos tipos, denominados popularmente radiadores eléctricos, carecen por completo de instalación auxiliar; se enchufa a una toma de corriente y funcionan en el acto.

Son por ello sumamente prácticos y muy sencillos de instalar, aunque poco económicos en cuanto al consumo.

Los aparatos de calefacción eléctrica pueden ser de tipo calefactor local o estufas, diferenciándose principalmente por la potencia calorífica emitida, que se hallará directamente proporcional al tamaño del local.

e) Calefacción por paneles radiantes.

Se llama así el sistema calefactor que se caracteriza por utilizar grandes áreas de las superficies que limitan los locales, relativamente a bajas temperaturas.

Los elementos de calefacción son tuberías para agua caliente, conductos de aire caliente, o resistencias eléctricas empotradas o situadas detrás de techos, paredes o suelos.

f) Calefacción electrónica.

Este sistema de calefacción, producido por osciladores electrónicos de alta frecuencia alimentados por una corriente alterna continua, constituye el llamado calor radiante.

Dicho calor consiste en aprovechar con fines utilitarios la radiación infrarroja, cuyas ondas se hallan entre la radiación visible roja y las ondas de radio.

Son ondas emitidas por los cuerpos calientes en determinadas condiciones y que tienen la propiedad de transformarse en calor

al ponerse en contacto con un cuerpo que les oponga resistencia, perdiendo en cambio muy escasa energía calorífica en el aire, que actúa de medio de transmisión.

Este calor, también llamado radiación infrarroja, tiene muy diversas aplicaciones, entre ellas la de aprovecharse de sus especialísimas propiedades para la fabricación de estufas de calefacción, que pueden ser de resistencia eléctrica o de gas butano.

g) Calefacción termodinámica.

También llamado sistema de la bomba de calor, es una variante del grupo de calefacciones eléctricas, que tiene su aplicación en aquellos países en los que la energía eléctrica resulta de bajo costo y puede, por ello, ser aplicada a instalaciones de este tipo.

Esquemáticamente, el sistema pone en práctica los principios de la termodinámica para producir calor aprovechable con fines calefactores, actuando de manera similar a la refrigeración por compresión, empleando al efecto un gas de propiedades termodinámicas, como el amoníaco, el freón, etc.

El sistema, de mucho mayor rendimiento que los radiadores por resistencia eléctrica, tiene un desarrollo en cuatro fases que corresponden a las cuatro transformaciones del ciclo de Carnot.

En la primera de ellas el gas enfriado pasa por un radiador para ponerse en contacto con una masa de aire o de agua a contracorriente, tomando su propia temperatura y evaporándose; después, durante la segunda fase, el fluido auxiliar es objeto de compresión por parte de una bomba o un turbocompresor, dando origen a la producción de calor de compresión.

Viene en seguida la tercera fase, que corresponderá a la cesión de este calor por parte del fluido al ambiente que es objeto de calefacción. Y por último, en la cuarta fase, el fluido enfriado vuelve a tomar contacto con el agua o aire, para dar comienzo de nuevo al ciclo, que se producirá sucesivamente.

La calefacción termodinámica es una de las más modernas y eficaces, aunque por las razones antedichas debe considerarse como de uso muy restringido en nuestra nación.

h) Calefacción por radiación solar.

Consiste este sistema en el aprovechamiento de la energía de la radiación solar para conseguir calor controlado, empleándose entre otras aplicaciones para calefacción de viviendas.

El sistema consta, básicamente de un dispositivo colector de calor, energía calorífica recibida, que se almacenará durante las horas de insolación y permitirá ser utilizada por la noche o en los días nublados o fríos.

Como hemos podido observar en los párrafos enunciados previamente, los tres últimos sistemas de calefacción (electrónica, termodinámica y por radiación solar), son métodos que aun están en proceso de pruebas y es por ello que, en nuestro caso, su uso resulta un poco restringido.

Por otra parte, los tres primeros métodos de calefacción (por agua caliente, por vapor de agua y por aire caliente), debido a necesitar de un equipo de combustión, de distribución (calderas, red de tuberías, combustible, etc.), son sistemas que resultan sumamente costosos.

Es debido a ello, que a pesar de que la calefacción por resistencia eléctrica puede resultar poco económica, resulta y por mucho, muy superior a los demás tipos de calefacción, ya que nos puede ofrecer ventajas como las siguientes:

- 1.- La energía eléctrica no tiene problemas de combustión, por esto no hay chimeneas, ni tuberías o tanques de almacenamiento, quemadores, etc.
- 2.- No hay problemas de gas u hollín.
- 3.- El control se hace directamente en cada estructura por medio de termostatos.
- 4.- La instalación es sencilla.
- 5.- De fácil manejo y muy poco riesgo.
- 6.- Disminuye los espacios ocupados por los elementos calefactores.

El diagrama de control del circuito de calefacción se muestra en la figura 4.1

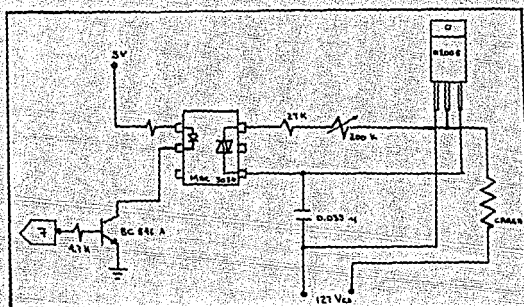


FIG 4.1 Circuito de Potencia para Calefacción.

Este circuito representa uno de los puntos de unión entre el dispositivo de control y el sistema. Es el que se encarga de proporcionar al sistema la potencia necesaria y en el momento adecuado para que éste pueda mantenerse a una temperatura determinada.

El circuito, como podemos observar recibe 2 entradas o excitaciones, una que proviene del microprocesador el cual forma parte del circuito de control y la otra señal de alimentación independiente.

La señal que entrega el microprocesador consiste en una onda cuadrada de amplitud constante, aproximadamente de 2.5 Vcd, y de periodo variable.

La magnitud del período depende exclusivamente del tiempo que el microprocesador determine para alcanzar el valor de la temperatura de referencia, o sea que el control decidirá acerca del tiempo durante el cual esta etapa deberá entregar potencia al sistema de acuerdo a las acciones de control proporcional, integral y derivativa.

La segunda excitación consiste en una onda senoidal de alimentación de 120 Vca y 60 Hz.

También es de suma importancia la unión de esta etapa con el equipo de desarrollo por que proporciona simultáneamente un aislamiento eléctrico entre ambos dispositivos con lo cual se provee a la microcomputadora de un sistema de protección contra las corrientes y voltajes elevados que maneja la etapa de potencia.

CAPITULO V

El contenido del vapor de agua en el aire es un parámetro importante en muchos procesos. El control apropiado de operaciones críticas en telas, papel, y productos químicos, depende frecuentemente de un control adecuado de la humedad del ambiente circundante.

En esta sección presentaremos 5 técnicas básicas para la medición del contenido de vapor de agua en el aire.

Primero consideraremos algunas definiciones.

DEFINICIONES.

La humedad específica o relación de humedad es la masa de vapor de agua por unidad de masa de aire seco.

La temperatura de bulbo seco, es la que se mide con un termómetro ordinario, y es la medida de calor sensible del aire expresado en grados fahrenheit o centígrados.

La temperatura de bulbo húmedo indica la cantidad de calor total contenido en el aire y está expresado en grados fahrenheit o centígrados.

Se determina cubriendo el bulbo de un termómetro con franela o un trapo húmedo y haciendo pasar aire rápidamente; en esta forma la humedad comienza a evaporarse. La temperatura del agua o del aire circundante baja proporcionalmente a la evaporación ocurrida. Si esta seco el aire que rodea al termómetro, la evaporación es rápida y el descenso de la temperatura es grande.

Por el contrario, si el aire está húmedo, la evaporación es lenta y, por lo tanto, la diferencia de temperatura entre el bulbo seco y el bulbo húmedo, es pequeña.

La diferencia entre la temperatura de bulbo seco y la de bulbo húmedo se llama DEPRESION DE BULBO HUMEDO.

La temperatura de rocío indica la cantidad de humedad contenida en el aire. Es la temperatura a la cual el aire se satura cuando se enfría, suponiendo que no hay aumento ni disminución de humedad, y está expresado en grados fahrenheit.

La temperatura de rocío no se puede cambiar, si no se aumenta o disminuye la humedad del aire, aunque se aumente o disminuya el calor.

Si el aire se enfría a una temperatura menor que la de rocío, empieza la condensación y se establece una nueva temperatura de rocío. La temperatura de rocío se puede disminuir, sustrayendo humedad del aire, o sea, sustrayendo vapor de agua de un peso dado de aire, y se puede aumentar añadiendo vapor de agua a un peso dado de aire.

TECNICAS DE MEDICION DE HUMEDAD.

El método primario para medir la humedad es de tipo gravimétrico, y es el que emplea la oficina nacional de normas para el propósito de calibración.

El procedimiento consiste en exponer una muestra de la mezcla de aire - vapor de agua a sustancias químicas adecuadas hasta que el agua se absorba.

A continuación, las sustancias se pesan y se determina la cantidad de vapor de agua absorbida. Con este método se pueden alcanzar incertidumbres tan bajas como 0.1 %.

Existe una relación analítica definida entre las temperaturas de bulbo seco, bulbo húmedo, y punto de rocío de una mezcla y su humedad.

Así, si se determinan dos cualesquiera de estas temperaturas, se puede calcular la humedad.

El método clásico que se usa para determinar la humedad en espacios abiertos amplios consiste en medir las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo con un psicrómetro de cadena, el cual consta de dos termómetros que se hacen girar a una velocidad de aproximadamente 1,000 ft/min y registran ambas temperaturas.

El psicrómetro de cadena no resulta particularmente adecuado para propósitos de control automático o de registro continuo. Para tales aplicaciones se utiliza el transductor eléctrico de humedad tipo Dumore.

Este transductor consiste de un elemento resistivo que se construye arrollando dos alambres de metales nobles sobre el núcleo de plástico, controlando cuidadosamente el espaciado entre ellos. Los devanados se cubren con una solución de cloruro de litio, lo cual forma una capa conductora entre ellos. La resistencia eléctrica de este recubrimiento depende en gran parte de la humedad relativa y por lo tanto puede utilizarse para detectar la humedad.

Debido a que la variación de la resistencia del recubrimiento es no lineal con respecto a la humedad, el transductor se emplea generalmente en un rango limitado de humedades.

Cuando se desea efectuar mediciones sobre un amplio rango de humedades, se pueden emplear varios sensores, de tal forma que cada uno de ellos posea un recubrimiento adecuado para alguna parte del espectro de humedad.

En general, un solo transductor no se utiliza para medir más de un 10 % de rango de humedad relativa.

La exactitud de este dispositivo fluctúan entre el 1.5 % del rango de humedad relativa; además puede utilizarse para operar bajo variaciones de temperatura de - 40 a 150 grados fahrenheit.

La humedad de una mezcla se puede determinar también realizando una medición de la temperatura del punto de rocío.

Para este propósito, la técnica convencional consiste en enfriar una superficie muy pulida, hasta que se empiece a empañar por efecto de la condensación del vapor, cuando la superficie este en contacto con la mezcla.

La temperatura de la superficie en el momento en que aparece la condensación, es entonces el punto de rocío.

Se puede mejorar la sensibilidad del proceso de medición, utilizando una fotocelda que detecte un rayo de luz que se refleje en la superficie.

En estas condiciones, al iniciarse la condensación, la intensidad del rayo reflejado disminuirá y se podrá utilizar

esta señal para registrar la temperatura del espejo como el punto de rocío.

Para el registro continuo del punto de rocío, se puede modificar la técnica del espejo y fotocelda, conectando el espejo a una fuente de baja temperatura, tal como un baño de acetona en hielo seco, simultáneamente a un calefactor eléctrico.

De esta forma, se puede detectar la señal de la fotocelda con un circuito electrónico apropiado y activar el calentador cuando la señal disminuya por efecto de enfriamiento.

El calentador continuaría funcionando hasta que la superficie se volviera a aclarar, lo que haría que la señal de la fotocelda aumentara, para reducir a su vez la corriente del calentado.

Básicamente, el sistema descrito es un sistema de control que mantiene al espejo a la temperatura del punto de rocío, independientemente de los cambios en el medio ambiente.

La medición de la temperatura del espejo se puede efectuar con un termopar y de esta manera registrará continuamente el punto de rocío.

Finalmente, un método bastante sencillo (y por lo tanto, el que nosotros utilizaremos) para determinar la humedad relativa de una mezcla de aire - vapor de agua consiste en utilizar dos termómetros, uno con el bulbo seco y el otro húmedo, en una variación del psicrómetro de cadena.

En este método, los termómetros no se hacen girar sino que se mantienen estáticos. La temperatura de bulbo seco se indica mediante un termómetro convencional situado dentro de la mezcla.

La temperatura de bulbo húmedo se mide mediante un termómetro cuyo bulbo está cubierto con una gasa saturada con agua y colocada en la corriente de aire - vapor de agua.

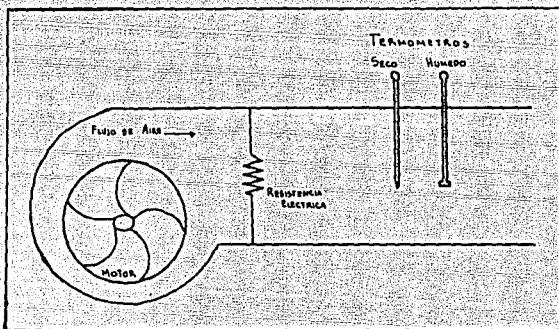


FIG. 5.1 Medición de la Humedad Relativa del Aire.

Si el aire que rodea el bulbo termométrico húmedo no está saturado, la presión parcial del vapor de agua en la superficie de la gasa es superior a la presión parcial del vapor de agua en la mezcla, entonces se produce la evaporación del agua de la gasa, debido a la diferencia de potencial químico entre las fases líquida y vapor.

Esta evaporación está acompañada por una disminución de la temperatura de la gasa, que repercute en un descenso de la temperatura del termómetro húmedo, puesto que ha de transferirse

calor desde el termómetro y la gasa para mantener el proceso de evaporación. Esta temperatura es normalmente menor que la de bulbo seco.

La temperatura del aire de bulbo seco y húmedo se utiliza para determinar la humedad relativa del aire.

Esto se consigue a través de lo que comúnmente se conoce como carta psicrométrica.

LA CARTA PSICROMETRICA.

La carta psicrométrica es la representación gráfica de las tablas " Propiedades de la mezcla de aire y vapor de agua a bajas temperaturas ", cuyo contenido se puede consultar en las páginas 60 - 69 del libro Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración, del autor Eduardo Hernández Goribar, editorial Limusa.

La carta muestra, básicamente, la relación entre los siguientes parámetros:

- 1.- Temperatura de bulbo seco.
- 2.- Temperatura de bulbo húmedo.
- 3.- Humedad específica.
- 4.- Humedad relativa.
- 5.- Volumen específico.
- 6.- Entalpia.
- 7.- Temperatura de rocío.

Conociendo dos parámetros cualesquiera, se pueden conocer los demás.

La carta parte de la línea de saturación, o sea, a cada temperatura de bulbo seco corresponde cierta cantidad de humedad para que haya saturación; por lo tanto, si en las abscisas se representan las temperaturas y en las ordenadas las humedades específicas, la línea de saturación tiene la forma mostrada en la figura.

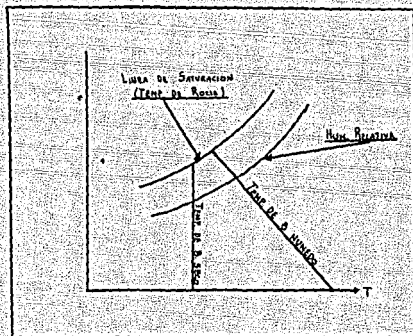


FIG 5.2 Carta Psicrométrica.

Los límites de humedad relativa para asegurar una deshidratación apropiada del contenido del huevo durante los primeros 19 días de incubación deben estar entre 50 y 60 % .

La determinación del porcentaje de humedad relativa en la lectura de bulbo húmedo cuando la temperatura de bulbo seco es 37.7 grados puede ser apreciada en la siguiente tabla.

C	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27
%	97	91	85	79	73.5	68	62.5	57.5	52.2	47.5	42.5

Podemos determinar también el porcentaje de humedad relativa por la diferencia en las lecturas en los termómetros de bulbo húmedo y de bulbo seco a través de la siguiente tabla, cuyos valores fueron extraídos de la carta psicrométrica.

Lectura de bulbo seco	Grados de bulbo húmedo por debajo de la temperatura de bulbo seco. [C]							
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
%	%	%	%	%	%	%	%	%
35.0	94	87	81	75	69	64	59	54
36.0	94	87	81	75	70	64	59	54
37.0	94	87	82	76	70	65	60	55
37.5	94	88	82	76	71	65	60	55
38.0	94	88	82	76	71	66	61	56
39.0	94	88	82	77	71	66	61	57

PROCESOS PSICROMETRICOS.

PROCESO DE ENFRIAMIENTO Y DESHUMIDIFICACION.

Si el aire pasa a través de una superficie o a través de un rociador de agua cuya temperatura sea menor que el punto de rocío del aire, la mezcla se enfriará simultáneamente.

Parte del aire que está en contacto directo con la superficie reduce su temperatura hasta que la temperatura medida en la superficie, sea según el trazo ACD, con condensación y consecuentemente deshumidificación de C a D.

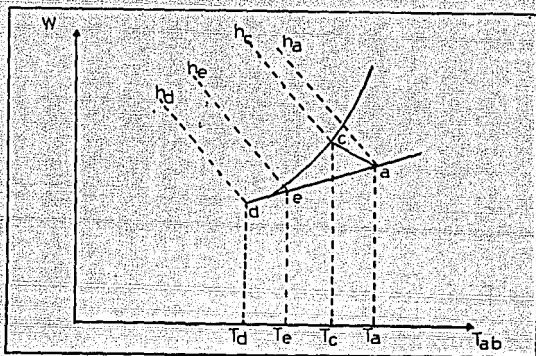


FIG 5.3 Proceso de Enfriamiento y Deshumidificación.

El aire que no está en contacto con la superficie, finalmente se enfría al mezclarse con el aire que sí tuvo contacto, y su estado final caerá sobre la línea recta entre A y D.

El trayecto real no es la línea recta AD, sino una curva parecida a la punteada. Esto se debe a la continua mezcla del aire que estuvo en contacto directo con el aire que nunca lo estuvo, (o sea, el que hace "By Pass"). En los procesos prácticos, no se obtiene el punto de saturación "D" sino que se llega a "E" con su respectivo efecto de By Pass.

Nota : La aproximación de la temperatura del aire a la de la superficie caliente se expresa como " By Pass " .

El factor de By Pass equivalente se define como la relación entre la diferencia de la temperatura efectiva de la superficie y la salida de aire con la diferencia de la temperatura efectiva de la superficie y la entrada de aire.

$$FB = (T_c - T_b) / (T_c - T_a)$$

PROCESO DE ENFRIAMIENTO Y HUMIDIFICACION.

Siempre que el aire no saturado pasa a través de un aspersor de agua, la humedad específica aumenta y la temperatura de bulbo seco baja. Esto constituye el proceso de saturación adiabática, o sea, un proceso a temperatura de bulbo húmedo constante. El bulbo húmedo del aire está representado por el punto " C ". El aire saldrá a esta temperatura siempre que exista un buen contacto aire-agua.

El concepto de factor de " By Pass " también se aplica en este caso, pero para este proceso de humidificación existe otro concepto llamado " eficiencia de humidificación " que se define como sigue: $E = [(T_a - T_b) / (T_a - T_c)] * 100$ que es igual a uno menos el efecto de By Pass. Este proceso es a Entalpía constante.

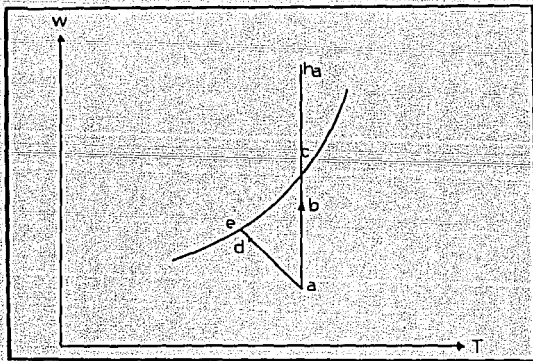


FIG 5.4 Proceso de Enfriamiento y Humidificación.

También puede suceder que el agua esté a una temperatura menor

que la de bulbo húmedo, pero mayor que el punto de rocío, en cuyo caso, el proceso lo muestra la línea AD, y se enfría y humidifica simultáneamente.

El aspersor de agua tendrá que ser de recirculación continua para que se establezca el equilibrio.

PROCESO DE CALENTAMIENTO Y DESHUMIDIFICACION.

El calentamiento y deshumidificación simultáneo se puede realizar haciendo pasar el aire por un absorbente sólido o a través de un líquido absorbente.

En ambos casos, el absorbente tendrá una presión de vapor de agua menor que la del aire.

La humedad se condensa fuera del aire, en consecuencia el calor latente se libera y aumenta el calor sensible del aire.

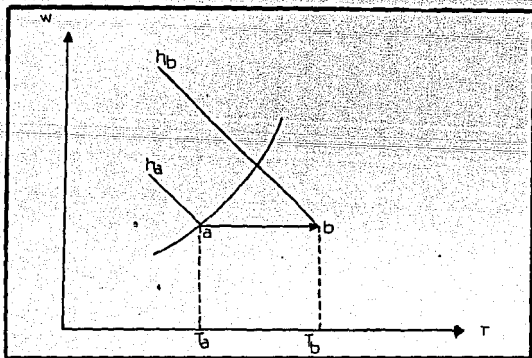


FIG. 5.5 Proceso de Calentamiento y Deshumidificación.

Si estas son la únicas energías que intervienen, el proceso es inverso al adiabático de saturación, pero existe un calor absorbido o generado por el material activo que se llama calor de absorción.

Para absorbentes sólidos, se usa la sílice, la alúmina, etc., y para los absorbentes líquidos, sales orgánicas o compuestos orgánicos.

En ambos casos el calor desprendido interviene en el proceso incrementando el calor sensible.

PROCESO DE CALENTAMIENTO Y HUMIDIFICACION.

Cuando el aire pasa a través de un humidificador, se humidifica y puede calentarse, enfriarse o permanecer a la misma temperatura. Durante este proceso el aire incrementa su humedad específica y entalpía, y la temperatura de bulbo seco aumenta o disminuye según la temperatura inicial del aire y del agua.

Si se suministra suficiente agua en relación con el aire, éste se acercará a la saturación según lo indica la figura 5.6:

- a - b: temperatura del agua es menor que la del aire.
- a - c: temperatura del agua igual a la del aire.
- a - d: temperatura del agua mayor que la del aire.

Cuando el agua es relativamente poca, la línea ad cae según indican los puntos ad.

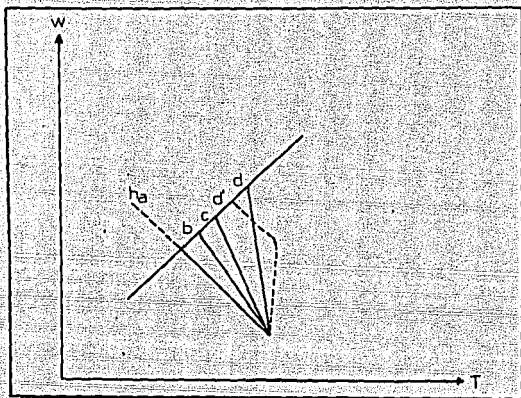


FIG 5.6 Proceso de Calentamiento y Humidificación.

LA HUMIDIFICACION DEL AMBIENTE.

Ya hemos visto en secciones anteriores la importancia que tiene una adecuada humidificación del ambiente durante el proceso de incubación artificial.

Ahora, es igualmente importante señalar como se esta logrando este objetivo dentro del sistema diseñado.

En primer término, se hace necesario la implementación de un circuito que nos brinde la potencia necesaria para calentar el agua contenida en un depósito logrando con ello la producción del vapor de agua necesario para mantener un grado de humedad óptimo.

El sensor de temperatura (Termómetro de bulbo Húmedo), se encargará de mantener constantemente la información necesaria sobre ésta, enviando dicha información hacia la etapa comparadora, donde se decidirá si se pide o no potencia al circuito encargado de suministrarla, dependiendo de si la temperatura se encuentra por encima o por debajo de la temperatura de referencia.

El circuito encargado de la entrega de potencia es exactamente igual al descrito en el Capítulo IV salvo en que este caso no se utiliza el potenciómetro de 200 K y la entrada se hace a través del pin 21 del microkit

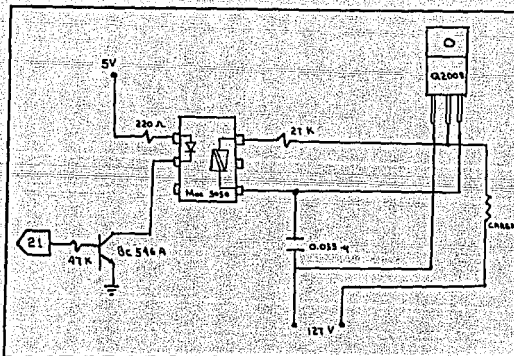


FIG 5.7 Circuito de Potencia para Humidificación.

El esquema de conexión entre el control de potencia y el sistema humidificador es el mostrado en la fig 5.8

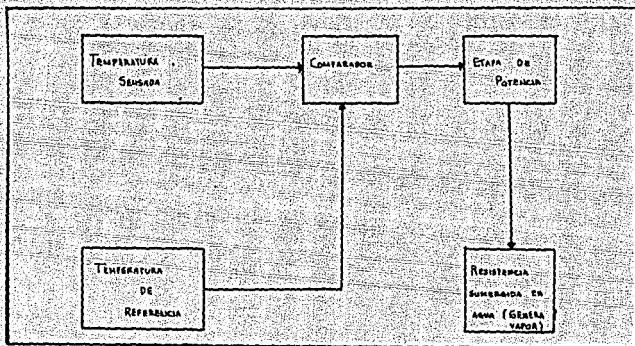


FIG 5.8' Esquema de Conexión.

CAPITULO VI

DISEÑO DEL CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD.

Etapa Convertidora Digital/Analógica.

Con la ayuda del nanocomputador MKE-280, programado con un contador que inicia desde 00H con incrementos de uno hasta FFH, se generan los códigos binarios, los cuales son sacados continuamente por los puertos y conducidos a través de amplificadores separadores (buffers) al convertidor D/A.

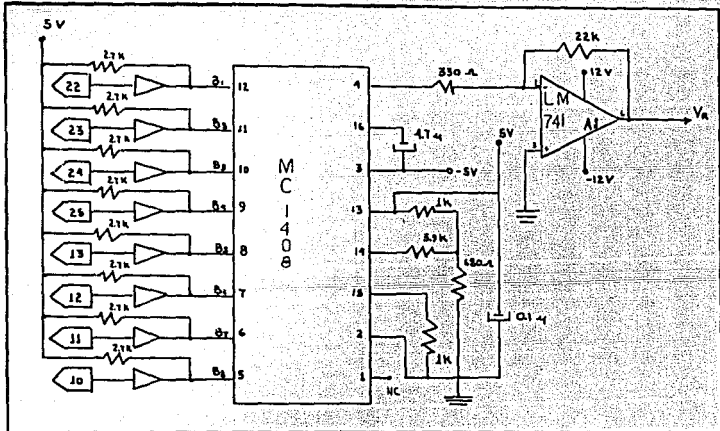


FIG 6.1 Circuito Convertidor Digital Analógico.

La función del CAD (MC 1408) es la de transformar el código binario que se encuentra en su entrada en una corriente analógica negativa de magnitud determinada por los voltajes de alimentación.

La función del amplificador operacional A1 (LM 741) es la de convertir la corriente proporcionada por el CAD en un voltaje analógico positivo.

Este amplificador operacional A1 está ajustado a una ganancia de voltaje de aproximadamente 66 (R_f/R), el valor de esta ganancia de voltaje es elegido de acuerdo a la condición inicial, que establece que el rango de operación del voltaje de salida del amplificador A1 debe de ser de 0 a 10 Volts para un código binario de 0000 0000 a 1111 1111 (00H a FFH).

Etapa Comparadora.

La función del amplificador operacional A2 es igual para el A3. Su objetivo es determinar cuando se igualan los voltajes provenientes del convertidor Digital/Analógico y del circuito que contiene el sensor de temperatura (termómetro).

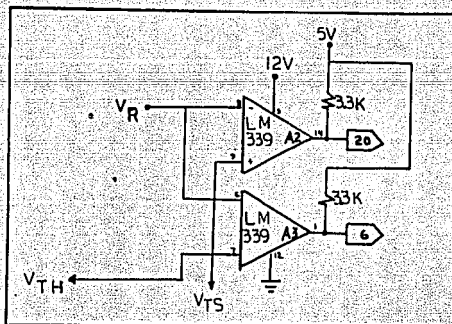


FIG 6.2 Etapa Comparadora.

Es decir, el amplificador operacional A2 cambia su salida de 5 a 0 Volts cuando los voltajes aplicados a sus entradas son iguales.

Este voltaje de 0 Volts es enviado a través del puerto de entrada del nanocomputador al programa, el cual reinicia el conteo de 0 hasta FFH o a un valor intermedio si el comparador así lo indica.

Sensor de Temperatura (termómetro de Bulbo Seco).

Quando a través del diodo 1N4148 circula una corriente constante, la caída de tensión en el mismo disminuye 2 mV por cada grado centigrado que aumenta la temperatura.

El amplificador operacional A4 está dispuesto de tal forma que la tensión en su salida es proporcional a la caída de tensión en el diodo, producida por efecto de la temperatura.

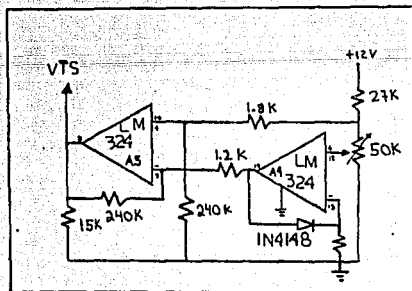


FIG 6.3 Termómetro de Bulbo Seco.

La siguiente etapa es un amplificador inversor (A5) diseñado con el objeto de limitar una tensión máxima y mínima de 10 y 0 Volts para una temperatura de 40 y 18 grados centigrados respectivamente.

Sensor de Temperatura (Termómetro de Bulbo Húmedo).

Su funcionamiento es muy similar al del circuito sensor de temperatura seca. La única diferencia consiste en que el diodo se encuentra cubierto con una gasa humedecida con agua y sometido a un goteo continuo.

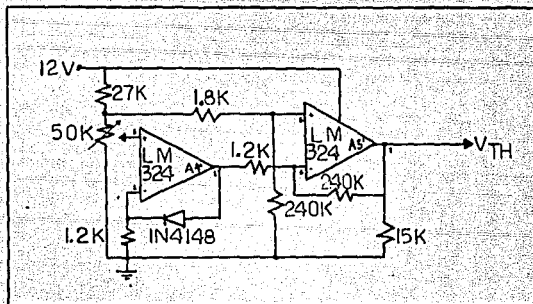


FIG. 6.4 Termómetro de Bulbo Húmedo.

Como ya explicamos en el capítulo anterior, los valores de temperatura proporcionados por los dos sensores (termómetro de bulbo seco y termómetro de bulbo húmedo), son utilizados para determinar de manera sencilla el porcentaje de humedad relativa contenida en el aire.

En la figura 6.5 podemos observar el diagrama del circuito completo.

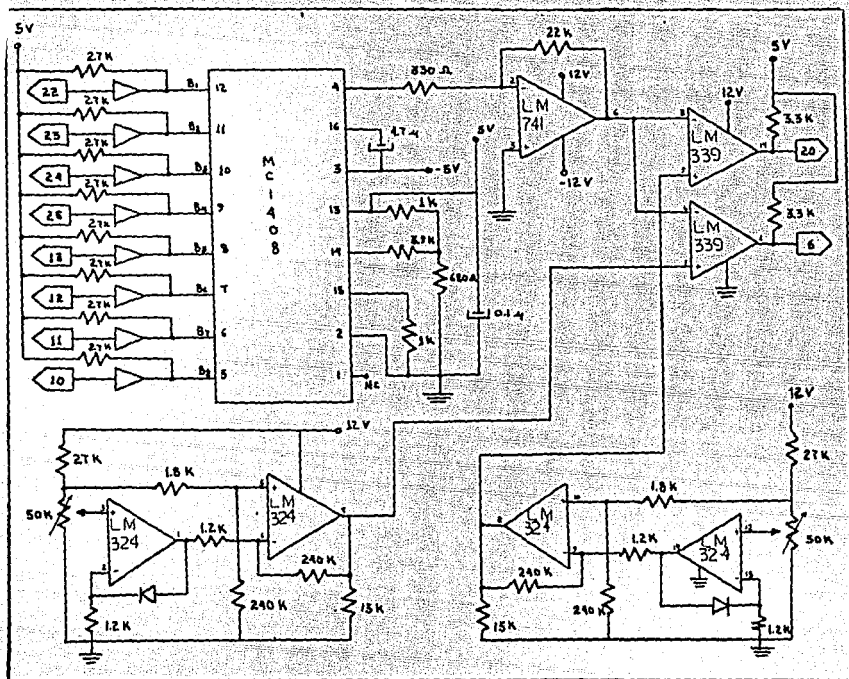


FIG 6.5 Control de Temperatura y Húmedad.

Naturalmente, debido a la ocupación de un microprocesador Z-80 como control de todo el sistema, es necesario contar con un número determinado de subrutinas que en conjunto harán posible llevar a cabo todo el proceso en forma correcta. Este grupo de subrutinas deberá regirse por un programa el cual denominaremos " Programa Principal " y cuyas funciones definiremos en la siguiente sección.

PROGRAMA PRINCIPAL

El programa principal ocupa un lugar fundamental en el diseño tanto del control de temperatura como del control de humedad, pues tiene a su cargo la responsabilidad de tomar las decisiones que determinarán el funcionamiento apropiado de todo el sistema.

El programa concentra toda la información que producen los circuitos de apoyo, información que deberá ser identificada y evaluada para poder determinar los pasos que se deben seguir y poder ampliar la acción del control proporcional, integral y derivativo (PID) así como del control de dos posiciones ON- OFF en los circuitos de temperatura y humedad respectivamente.

Después del procesamiento de la información, se genera y se envía a la etapa correspondiente, una señal que le indica la cantidad de potencia que debe entregar al sistema el elemento calefactor, ya sea para producir calor o vapor de agua, según lo indiquen los sensores tanto de temperatura como de humedad.

El uso del microprocesador 280 trae consigo varias ventajas en la realización del programa principal pues la versatilidad y la extensión de su conjunto de instrucciones proporciona facilidad en la implementación de todas las partes que conforman el programa principal.

El programa principal consta de las siguientes subrutinas:

- 1) Subrutina generadora de la función rampa con acceso de datos.
- 2) Subrutina de evaluación y análisis de error.
- 3) Subrutina de la función de control proporcional.
- 4) Subrutina de la función de control integral.
- 5) Subrutina de la función de control derivativo.
- 6) Subrutinas auxiliares y de apoyo para la realización de las operaciones que intervienen en el proceso.
 - a) Subrutina de multiplicación.
 - b) Subrutina de división.
 - c) Subrutina de complementación A2.
 - d) Subrutina de análisis de signos y evaluación de operación.
 - e) Subrutina de cambio de control.
 - f) Subrutina de acoplo de constantes 1.
 - g) Subrutina de acoplo de constantes 2.
- 7) Subrutina de modulación de potencia para el control de temperatura.
- 8) Subrutina de modulación de potencia para el control de humedad.

El diagrama de bloques lo podemos observar en la figura 6.6

SUBROUTINA GENERADORA DE LA FUNCION RAMPA CON ACCESO DE DATOS

Esta subrutina tiene tres funciones :

- 1- Saca a través del puerto de salida un conteo secuencial de 00H a FFH, el cual es requerido por el CDA.
- 2- Proporciona un retardo entre uno y el siguiente valor del

PROGRAMA PRINCIPAL

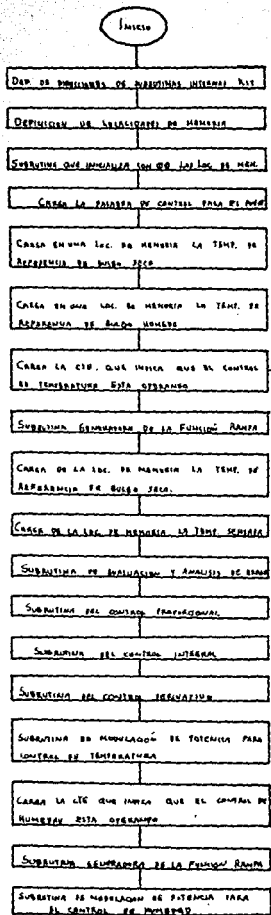


FIG 6.6

SUBROUTINA GENERADORA DE LA FUNCION RAMPA

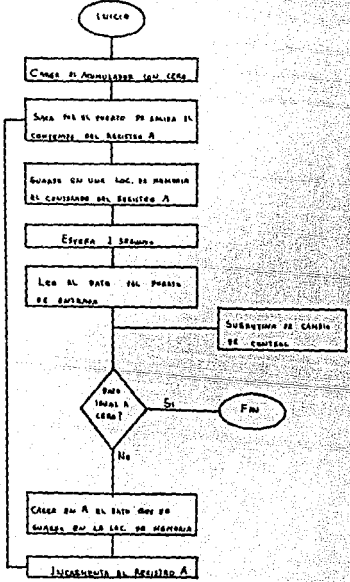


FIG 6.7

contador. El retardo es un tiempo muerto o de espera en el cual el microprocesador no realiza ninguna operación de control y solo se limita a consumir tiempo para dar oportunidad a los circuitos externos de realizar sus funciones, ya que estos son sumamente lentos en comparación con el microprocesador. La constante de retardo se guarda en la localidad de memoria INDICE y puede tomar un valor entre: 01H = mínimo retardo

FFH = máximo retardo

3- Introduce los datos proporcionados por los circuitos comparadores al microprocesador a través de los puertos de entrada.

Se tienen como datos iniciales :

Una constante que rige el tiempo de espera (INDICE).

La palabra de control para el puerto de entrada.

Y por último, la constante que indica cual control debe operar, el de temperatura o el de humedad.

Si el registro C se carga con:

00H indica que el control de temperatura entra en acción.

01H indica que el control de humedad entra en acción.

La figura 6.7 muestra el diagrama de bloques de esta subrutina.

SUBROUTINA DE EVALUACION Y ANALISIS DE ERROR.

Evalua la diferencia que existe entre el valor de la temperatura de referencia y el valor actual de la temperatura sensada, dicha diferencia expresa el error entre las dos

temperaturas y además indica si la temperatura sensada dentro del sistema se encuentra por encima o por debajo de la temperatura de referencia.

$$\text{FINALE} = (\text{REFTEMP} - \text{SENSATE})$$

Esto es, si la temperatura de referencia es mayor que la temperatura sensada, la diferencia es positiva lo que indica que se debe suministrar potencia al sistema.

Ahora bien, si sucede lo contrario; es decir, si la diferencia es negativa se debe de cortar inmediatamente el suministro de potencia al elemento calefactor.

El valor y el signo del error son almacenados en una localidad de memoria para poder ser utilizados después en el algoritmo de la función de control PID.

El error se guarda en la localidad de memoria llamada FINALE.

El signo del error se guarda en la localidad de memoria llamada SÍGNER.

Para esta subrutina se tienen como datos iniciales los siguientes:

Si se encuentra operando el control de temperatura:

La temperatura de bulbo seco sensada: es la temperatura real presente en el sistema (SENSATE).

La temperatura de bulbo seco de referencia, es la temperatura a la que se está obligando al sistema a llegar y a mantenerse (REFTEMP).

Si se encuentra operando el control de humedad:

La temperatura de bulbo húmedo sensada, es la temperatura actual presente en el sistema detectada por el diodo, el cual se encuentra cubierto con una gasa húmeda (SENSATE).

La temperatura de bulbo húmedo de referencia, esta se define en base a la carta psicrométrica para una humedad relativa de aproximadamente el 60% (HUMTEMP).

Los valores de referencia se definen como constantes dentro del programa. Los otros dos valores son generados por el contador de manera aproximativa y con ayuda de los circuitos de apoyo. El diagrama de flujo de esta subrutina se muestra en la figura 6.8

FUNCION DE CONTROL PID.

La función de control que se utilizará será la denominada PID, la cual conjunta las características de cada uno de los tres tipos de controles que la integran, (control proporcional, control integral, y control derivativo).

La unión de estos tres tipos de controles logra una función compuesta que aprovecha las cualidades de cada uno de ellos y complementa las deficiencias que puedan tener individualmente, con lo que se obtiene una función de control confiable y precisa.

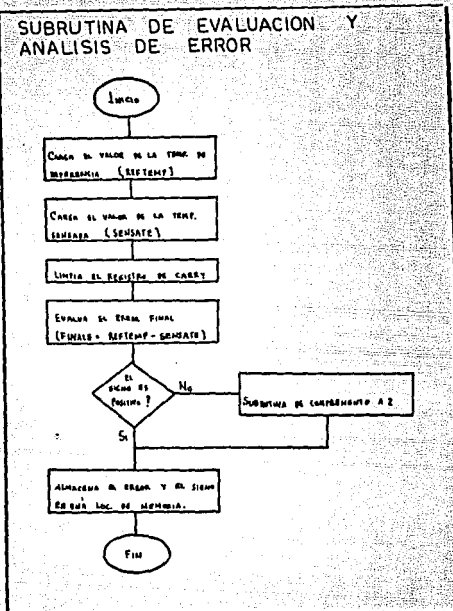


FIG. 6.8

A través del algoritmo en forma discreta de la función de control PID, $R_n = K_p * e_n + \sum K_i * e_n + K_d [e_n - (e_{n-1})]$

donde :

$$K_i = K_1 / t$$

$$K_d = K_2 / t$$

$t = T =$ intervalo entre dos evaluaciones.

$R_n =$ factor de corrección.

$e_n =$ error.

se pueden implementar cada una de las funciones de control que forman el PID, en el sistema del microprocesador.

La función PID es posible realizarla con el lenguaje del microprocesador Z80 si se le añaden algunas subrutinas de apoyo y además las tres constantes que intervienen en el algoritmo. Estas se presentan en una forma apropiada de cociente.

$$K_p = CP/CP0$$

$$K_d = CD/CD0$$

$$K_i = CI/CI0$$

Los valores de las constantes CP, CD, CI se establecen de acuerdo a un análisis gráfico, el cual es descrito en el Apéndice A, subtítulo apoyo en lenguaje básico.

Mientras que los valores de CP0, CD0 y CI0 se definen dentro del programa con un valor igual a 100 (64H) para cada uno.

CONTROL PROPORCIONAL (PID1) .

Para realizar esta subrutina es necesario tener información acerca de los valores del error final (FINALE), constante proporcional (CP) y constante de ajuste (CP0).

Teniendo los datos anteriores la subrutina procede a realizar la siguiente función, con ayuda primeramente de la subrutina de la multiplicación y luego de la subrutina de la división.

$$PID1 = (FINALE) * (CP) / (CP0)$$

El diagrama de flujo se muestra en la figura 6.9

CONTROL INTEGRAL (PID2) .

Para evaluar el error integral se requiere conocer el valor de sumatoria de los "n" errores conocidos (ESTADE), además de la constante integrativa (CI) y la constante de ajuste (CI0).

SUBROUTINA DE CONTROL INTEGRAL

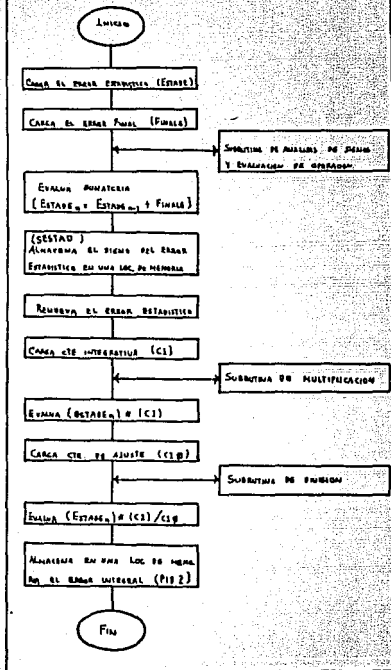


FIG 6.9

FIG 6.10

Esta subrutina realiza la siguiente función, con el auxilio de las subrutinas de análisis de signos, evaluación de operación, multiplicación y división.

$$PID2 = (ESTADE) * (CI) / (CIG)$$

La figura 6.10 muestra el diagrama de bloques de esta subrutina.

CONTROL DERIVATIVO (PID3)

Para evaluar el error derivativo es necesario calcular el incremento del error o derivada, por lo cual se deben conocer los valores del error final (FINALE), además de la constante derivativa (CD) y la constante de ajuste (CD0).

En esta subrutina se encuentra programada de la siguiente forma el error derivativo.

$$PID3 = (FINALE - INICE) * (CD) / (CD0)$$

Como se puede observar en la función anterior, lo que primeramente realiza la subrutina, es la resta: error final menos error inicial, esta substracción es hecha con auxilio de la subrutina de análisis de signos y evaluación de operación, el resultado es cargado en el multiplicando, en el multiplicador se carga la constante derivativa y se realiza la multiplicación.

Enseguida, el producto se divide entre la constante de ajuste, el cociente se guarda en una localidad de memoria (PID3) y su signo en la localidad de memoria (SDERI).

La parte final de esta subrutina evalúa la suma de los tres errores con auxilio de la subrutina de análisis de signos y evaluación de operación, para obtener de esta manera el valor del error final PID.

$$PID = PID1 + PID2 + PID3$$

El signo es guardado en la localidad de memoria SPID.

SUBRUTINA DE CONTROL DERIVATIVO

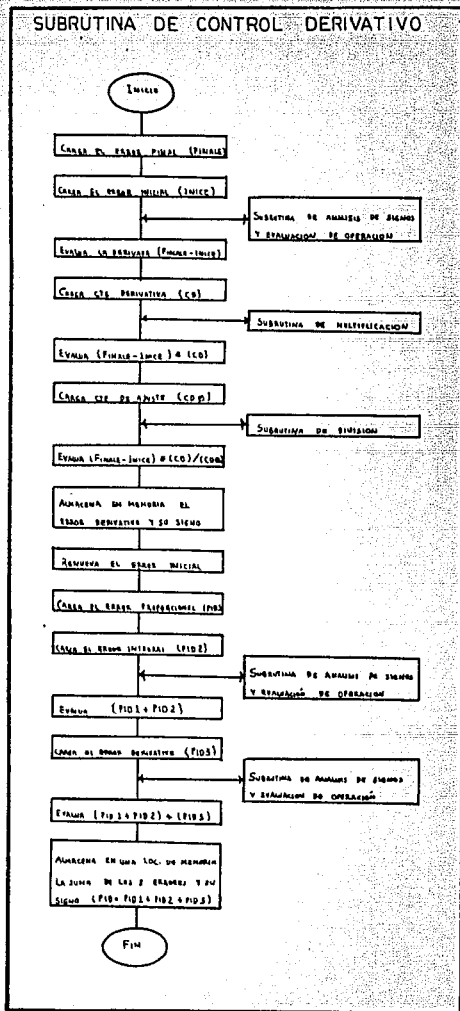


FIG 6.11

SUBROUTINAS AUXILIARES Y DE APOYO.

Para poder realizar la evaluación de las operaciones que contiene el programa de control se requiere del auxilio de las siguientes subrutinas :

MULTIPLICACION.

Es la subrutina encargada de ejecutar el producto de 2 números binarios de 8 bits cada uno, dando como resultado un número binario de 16 bits. Donde DE es el multiplicando, C es el multiplicador y HL es el producto.

Es necesario asegurarse de que los operandos sean números enteros positivos por lo que se tienen que analizar los datos de entrada para poder adecuarlos a esta condición.

El algoritmo utilizado es como sigue, los dígitos del multiplicador son examinados, uno por uno, por medio de un corrimiento a la izquierda del multiplicador, esta operación coloca el bit más significativo en un registro adicional en donde es analizado.

Se verifica si el bit más significativo es igual a uno, si lo es, el multiplicando es adicionado al producto parcial y se realiza un corrimiento a la izquierda del último producto parcial. Pero si el bit más significativo es igual a cero, la adición no se realiza y solo se efectúa el corrimiento a la izquierda del producto parcial.

El corrimiento es utilizado para colocar a los sumandos en posición adecuada, según se examina el dígito del multiplicador. El proceso se repite con el siguiente dígito del multiplicador hasta completar las 8 interacciones.

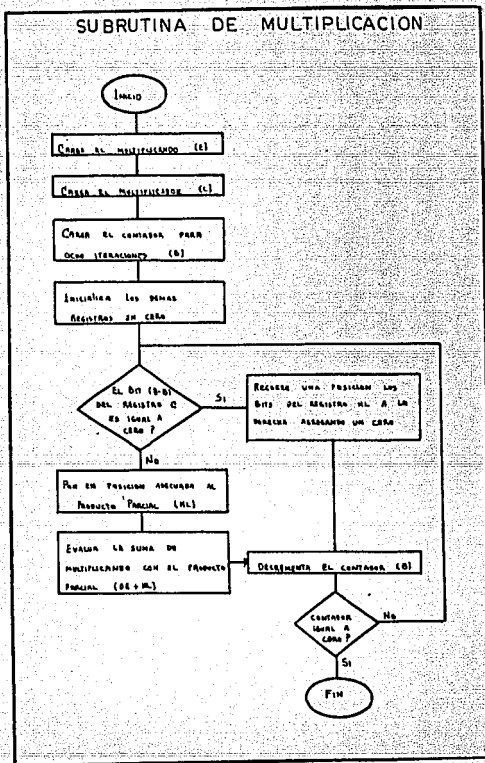


FIG 6.12

DIVISION

Es la subrutina encargada de evaluar el cociente entre 2 números binarios enteros positivos, donde el dividendo consta de 16 bits mientras que el divisor consta de 8 bits, el cociente tanto como el residuo se obtienen en 16 bits. Donde BC es el cociente y al mismo tiempo el dividendo, DE es el divisor y HL es el residuo.

El algoritmo es el siguiente: Se inicializa el residuo parcial con cero, se realiza un corrimiento a la izquierda del registro par que contiene al dividendo y también del registro par que contiene al residuo parcial, lo anterior hace que se introduzcan simultáneamente el bit más significativo del dividendo en el bit menos significativo del residuo parcial, enseguida se debe analizar el residuo parcial para determinar si es mayor, igual o menor que el divisor, esto se consigue al substrair el divisor al residuo parcial.

Si no es posible realizar la substracción, entonces se pone un cero en el bit correspondiente del registro del cociente y se recupera el valor anterior del residuo parcial, esto se logra adicionándole el divisor al residuo parcial, el proceso se repite de nuevo desde el paso donde se realiza el corrimiento a la izquierda.

Después de que el contador indique 16 interacciones el dividendo ha sido analizado en su totalidad y se realiza un redondeo a través de un análisis del residuo final.

El diagrama de flujo de esta subrutina se muestra en la figura 6.13

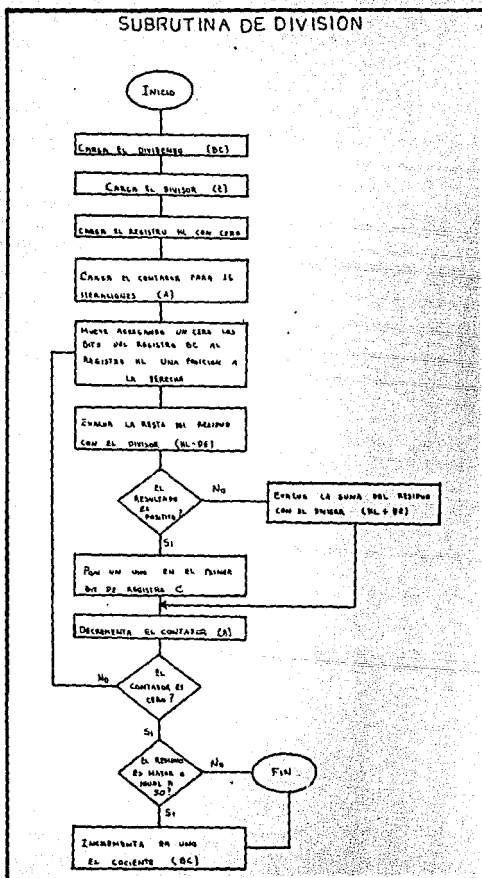


FIG 6.13

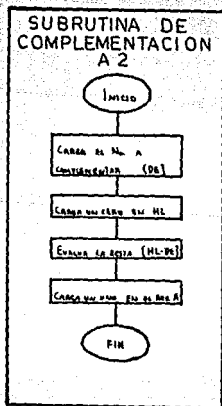


FIG 6.14

COMPLEMENTACION A2

Esta subrutina es una parte importante del programa ya que adecúa los operandos negativos en forma conveniente para que estos puedan ser utilizados en las subrutinas que así lo requieran.

Esta función está implementada aprovechando una de las características que presenta el microprocesador 780, la cual indica que las operaciones aritméticas que se efectúan directamente con las instrucciones se hacen en complemento A2.

$$00H - FFH = 01H$$

minuendo - sustraendo = resultado en complemento A2
del sustraendo.

El algoritmo utilizado se describe así: se inicializa el minuendo con cero y el sustraendo se carga con el número que se desea complementar, al ejecutar el CPU la instrucción de sustracción convierte el sustraendo a su equivalente en complemento A2, esto es, como se tiene que el minuendo es cero entonces la operación da como resultado el complemento A2 del sustraendo.

La figura 6.14 en la página anterior muestra el diagrama de flujo de esta subrutina.

ANALISIS DE SIGNOS Y EVALUACION DE OPERACION

Esta subrutina analiza los signos de cada uno de los operandos que intervienen en las operaciones de adición y/o sustracción que realiza el programa, determina el signo que debe tener el resultado de cada operación (En esta subrutina los operandos negativos entran ya complementados).

Para la adición existen 4 posibles combinaciones de los signos de los operandos, pero en cada operación solo se presenta alguno de ellos.

El algoritmo es el siguiente :

Si los signos de los operandos son positivos no hay problema, se realiza la adición y se indica que el signo del resultado es positivo, esto se realiza cargando el acumulador con cero.

([+BC] + [+DE]).

En el caso cuando los signos de los operandos son negativos, se realiza la suma, pero el signo del resultado se indica como negativo, esto se hace cargando el acumulador con un uno y al final se realiza la complementación A2 del resultado.

([-BC] + [-DE]).

En caso de que el primer operando sea positivo y el segundo operando negativo se realiza la sustracción y se analiza el signo del resultado, si dicho resultado es positivo solo se indica esto cargando con un cero el acumulador, pero si el resultado es negativo este se complementa con ayuda de la subrutina de complementación A2 ([+BC] - [+DE]).

En caso de que el primer operando sea negativo y el segundo operando sea positivo, se realiza la resta del segundo operando menos el primer operando y se analiza el signo del resultado. Si este resulta positivo se carga el acumulador con un cero, pero si el resultado es negativo este se complementa con ayuda de la subrutina de complementación A2 ([+DE] - [+BC]).

Si se quiere utilizar para la sustracción, se tienen que adecuar los operandos conforme las siguientes condiciones.

operando 1		operando 2	=	operando 1		operando 2
[+BC]	-	[+DE]	=	[+BC]	+	[-DE]
[+BC]	-	[-DE]	=	[+BC]	+	[+DE]
[-BC]	-	[+DE]	=	[-BC]	+	[-DE]
[-BC]	-	[-DE]	=	[-BC]	+	[+DE]

Esta subrutina identifica los signos de los 2 operandos y encausa el programa para que siga una secuencia lógica y así obtener el resultado correcto tanto en la multiplicación como en la división.

Su función primordial es adecuar los operandos para cumplir las condiciones de entrada de las subrutinas de multiplicación y división, además de que determina el signo final de la operación, auxiliada por la subrutina de complementación A2.

El diagrama de flujo de esta subrutina se muestra en la figura 6.15

SUBROUTINA DE ANALISIS Y EVALUACION DE OPERACION

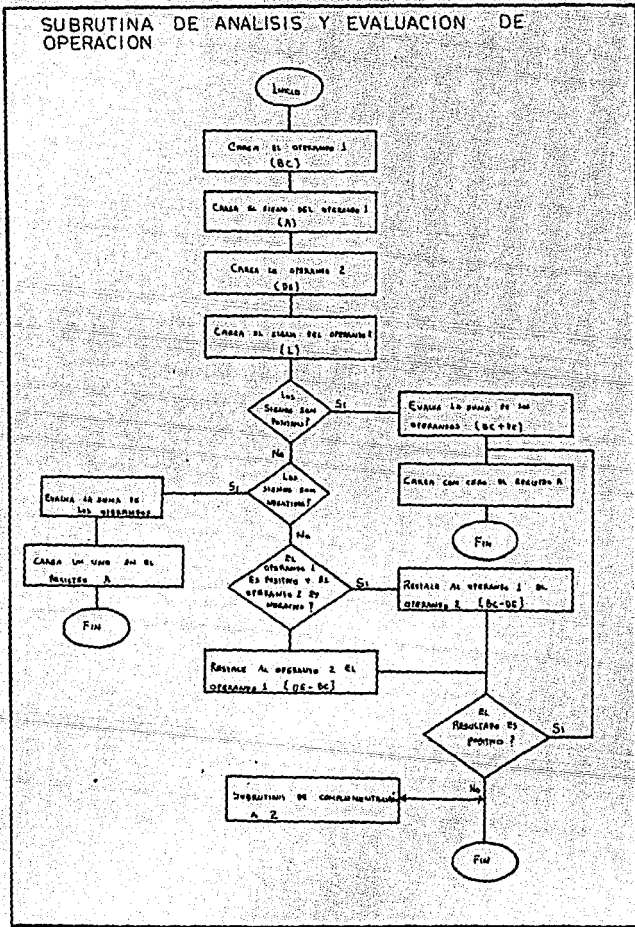


FIG 6.15

CAMBIO DE CONTROL

La función de esta subrutina es la de analizar los datos generados por los sensores (de temperatura y de humedad) en los puertos de entrada, en base a una constante de control.

El valor de dicha constante determina en forma alternativa cual control opera primero y por consiguiente que puerto de entrada se tiene que analizar.

Si el valor de la constante de control es cero, la subrutina no realiza ninguna operación, lo cual indica que el puerto de entrada que se va a sensor proviene del control de temperatura y el bit a analizar (bit cero del registro A) se le deja a la subrutina generadora de la función rampa.

Si el valor de la constante es uno, la subrutina realiza un corrimiento a la izquierda del registro A, esto da como resultado que el bit uno del registro A se coloque en forma adecuada para ser analizado por la subrutina generadora de la función rampa y acceso de datos.

Constante de control que entra dato del puerto
control reg. C en operación de entrada reg. A

00H de temperatura en el bit cero

01H de humedad en el bit uno

El diagrama de bloques se muestra en la figura 6.16

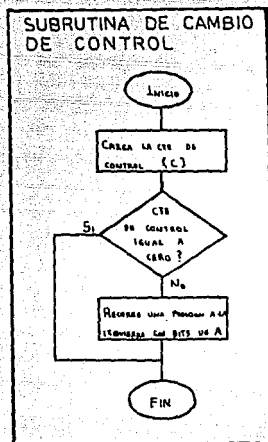


FIG 6.16

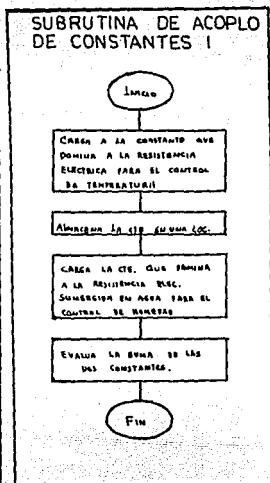


FIG 6.17

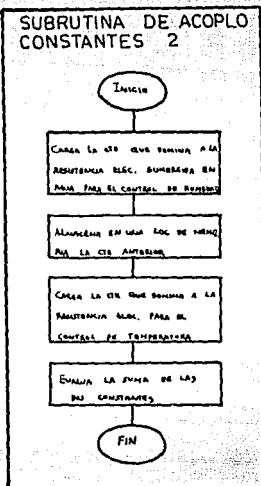


FIG 6.18

ACOPLO DE CONSTANTES 1 Y 2

Los circuitos de potencia están diseñados de tal manera que solo es necesario una señal digital para activarlos o desactivarlos.

Es decir, solo es necesario un bit del registro A (bit 4) para activar (1) o desactivar (0) el circuito de potencia del elemento calefactor necesario para el control de temperatura, (o bit 5 del registro A) para el circuito de potencia del control de humedad.

Estas subrutinas tienen la función de almacenar en una localidad de memoria el código binario que se genera al encender o apagar el bit respectivo para cada control, para luego mezclarlos evitando con esto que los controles se interfieran entre sí.

Al mezclar estos códigos binarios se crean 4 casos.

1) El elemento calefactor apagado (bit 4 del reg. A en cero); código binario formado 00H y almacenado en la localidad de memoria PT; elemento evaporador apagado (bit 5 del reg. A en cero); código binario formado 00H y almacenado en la localidad de memoria PH.

$$\begin{aligned} PT &+ PH \\ 00H &+ 00H = 00H \end{aligned}$$

00H es la palabra binaria sacada por el puerto de salida.

2) Elemento calefactor encendido (bit 4 del reg. A en uno); código binario formado 10H (PT); elemento evaporador encendido (bit 5 del reg. A en uno); código binario formado 20H (PH).

$$\begin{aligned} PT &+ PH \\ 10H &+ 20H = 30H \end{aligned}$$

30H es la palabra binaria que es sacada por el puerto de salida.

3) Elemento calefactor encendido (bit 4 del reg. A en uno); código binario formado 10H (PT); elemento evaporador apagado (bit 5 del reg. A en cero); código binario formado 00H (PH).

$$\begin{aligned} PT &+ PH \\ 10H &+ 00H = 10H \end{aligned}$$

10H es la palabra binaria sacada por el puerto de salida.

4) Elemento calefactor apagado (bit 4 del reg. A en cero); código binario formado 00H (PT); elemento evaporador encendido (bit 5 del reg. A en uno); código binario formado 20H (PH).

PT + PH

00H + 20H = 20H

20H es la palabra binaria sacada por el puerto de salida.

Los diagramas de flujo de estas subrutinas estan representados por las figuras 6.17 y 6.18 de la pagina 110.

MÓDULACION DE POTENCIA PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA.

Es la subrutina que modula el tiempo de duración del pulso de salida a través de una señal que controla la etapa de potencia. La señal de control esta formada por una onda cuadrada, donde el periodo de habilitación de salida es directamente proporcional al error calculado por la función de error PID.

Dicho periodo de habilitación puede adoptar dos valores; 0 o 1, dependiendo del signo del error final; esto es, toma el valor de 0 o apagado cuando la temperatura sensada esta por encima de la temperatura de referencia, entonces el signo del error es negativo y el pulso no activa el circuito de potencia durante un tiempo proporcional al error final, lo que permite que el sistema disminuya su temperatura.

Cuando la temperatura sensada se encuentra por debajo de la temperatura de referencia, (esto es indicado por el signo positivo del error PID), es necesario mantener encendido o en 1

la señal de salida un período proporcional al valor absoluto del error final PID, lo cual significa que se requiere activar el circuito de potencia para que el sistema alcance la temperatura deseada.

El período de apagado de la señal de salida determina un tiempo de espera entre cada interacción.

Período de apagado 1 seg.

Período de encendido $0 \leq T \text{ seg.} \leq 16 \text{ seg.}$

La figura 6.19 al final del capítulo representa el diagrama de flujo de esta subrutina.

MODULACION DE POTENCIA PARA EL CONTROL DE HUMEDAD.

Esta subrutina es similar a la subrutina anterior, la única diferencia que existe es el tipo de control usado.

La subrutina de modulación de potencia para el control de temperatura utiliza la función de error PID, para modular la duración de entrega de potencia cuando así lo requiera el sistema. Esto es debido a que el control de temperatura que necesita el sistema, debe evitar en lo posible variaciones de temperatura no mayores de más/menos 1/2 grado centigrado, cuando se llega a la temperatura de referencia establecida.

Por otra parte, la subrutina de modulación de potencia para el control de humedad utiliza como función el error de dos posiciones (ON - OFF) para modular el tiempo de encendido o apagado del elemento evaporador.

Esto es debido a que el control de la humedad no necesita ser de una precisión absoluta, ya que esta puede variar entre el 50 y 60 % sin causar complicaciones.

Para la realización de esta subrutina es necesario contar con la información de la temperatura de referencia de bulbo húmedo (HUMTEMP), la temperatura de bulbo húmedo presente en el sistema (SENSATE) y la constante que se manda a través del puerto de salida (para temperatura esta en la localidad de memoria PT, para humedad esta en la loc. de mem. PH).

Además requiere del auxilio de las subrutinas de acoplo de constantes 1 y 2 y de la subrutina de evaluación y análisis de error.

Esta subrutina evalúa el error ($FINALE = HUMTEMP - SENSATE$) y compara si la temperatura real de bulbo húmedo (SENSATE) se encuentra por encima o por debajo de la temperatura de referencia de bulbo húmedo fijada (HUMTEMP), a este valor obtenido se le analiza su signo.

Si el signo del error es negativo indica que se debe apagar el elemento evaporador, para esto carga con 00H la localidad de memoria PH, realiza la suma de PH + PT y saca este resultado por el puerto de salida.

Si el signo del error es positivo indica que se debe encender el elemento evaporador, para esto carga con 20H a la loc. de mem. PH, realiza la suma de PH + PT y envía el resultado al puerto de salida.

El tiempo de apagado como el de encendido es aproximadamente igual; este tiempo de duración queda determinado por el tiempo de ejecución del programa principal; es decir, el elemento evaporador se queda encendido durante gran parte del programa y solo se apaga cuando el programa pasa de nuevo por esta subrutina, pero la decisión final de cambiar o mantener el valor de la señal de salida lo determina el signo del error final (FINALE).

La figura 6.20 muestra el diagrama de esta subrutina.

SUBROUTINA DE MODULACION DE POTENCIA PARA CONTROL DE TEMPERATURA

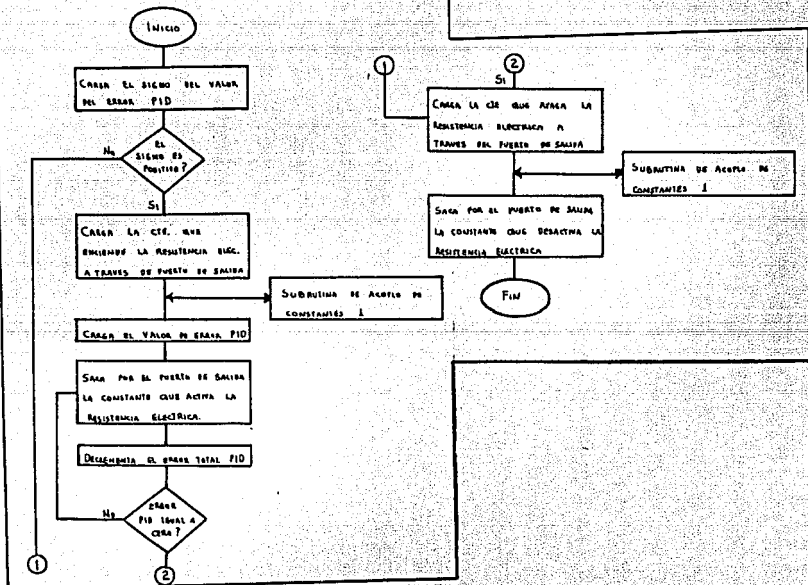


FIG 6.19

SUBROUTINA DE MODULACION DE POTENCIA
PARA CONTROL DE HUMEDAD

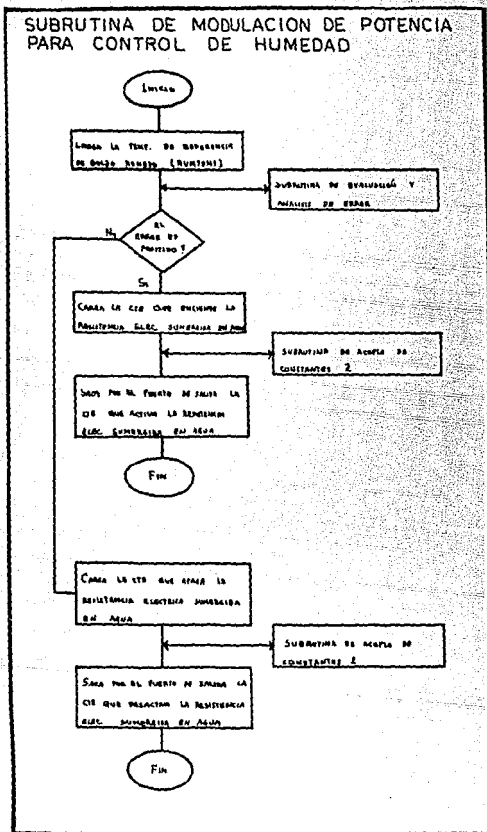


FIG 6.20

CAPITULO VII.

POSICION DEL HUEVO DURANTE LA INCUBACION.

Es necesario que el huevo sea conservado en la posición correcta durante la incubación y voltearlo regularmente. Los huevos bajo incubación artificial deben estar con el extremo ancho hacia arriba y no con su extremo angosto, pero esto no necesariamente significa en posición vertical; los huevos nacerán bien si se conservan en posición horizontal.

El procedimiento normal es que la cabeza del pollito se desarrolle en el extremo ancho del huevo, cerca de la cámara de aire.

El embrión en desarrollo se orienta así mismo para que la cabeza se encuentre en la parte superior del huevo. La mayoría de estas rotaciones se presentan durante la segunda semana de incubación, es más fácilmente completado cuando el extremo ancho del huevo se conserva hacia arriba.

Cuando los huevos son incubados con el extremo angosto hacia arriba, alrededor del 60 % de los embriones se desarrollarán con la cabeza cercana del extremo angosto del huevo. Así, cuando el pollito este listo para nacer, su pico no puede romper por dentro la cámara de aire cuando la respiración pulmonar se inicia.

La incubabilidad se reducirá en aproximadamente 10 % , y la calidad de los pollitos de 35 a 40 % .

VOLTEO DE LOS HUEVOS DURANTE LA INCUBACION.

La yema de los huevos recién puestos tiene una gravedad específica que provoca que se sedimente en la delgada albúmina, pero una vez que el huevo es colocado bajo incubación, la gravedad específica disminuye y la yema sube en la delgada albúmina para ponerse en contacto con la gruesa albúmina exterior si no es volteado el huevo.

Si no se ha roto el huevo, las dos membranas de la albúmina gruesa, que normalmente están separadas por la capa delgada de albúmina, se ponen en contacto y el embrión, generalmente muere.

En condiciones naturales, la gallina volteo los huevos varias veces al día.

Con la incubación artificial los huevos son colocados con el extremo ancho hacia arriba y rotado de uno a otro lado de su eje para producir el proceso de volteo.

Los huevos no deben voltearse en círculo, porque esto provoca la ruptura del saco alantoideo y después la muerte embrionaria.

Para la mejor incubabilidad los huevos deben voltearse de la posición vertical a 40 grados, luego al revés en la dirección opuesta en posición similar. No es adecuada una rotación menor para una alta incubabilidad como lo muestra el siguiente cuadro:

Angulo de volteo a cada lado de la vertical	Porcentaje de nacimiento de los huevos fértiles
---	---

20 grados	69.3 %
30 grados	78.9 %
40 grados	84.6 %

Nota: Albúmina o Clara, forma parte del 55 % del peso total del huevo. En la Albúmina hay dos formaciones que están en íntimo contacto, conocidas con el nombre de chalazas que son dos cordones blanquecinos que se dirigen desde la yema hacia los extremos del huevo. Tiene una función nutritiva y de protección al embrión.

El saco alantoideo es la membrana que tapiza el interior del huevo y su función es proteger a la membrana (amnios) que envuelve al embrión.

VELOCIDAD DE VOLTEO.

Los huevos que estén bajo incubación durante los primeros 19 días, deben ser volteados frecuentemente.

Los porcentajes de incubabilidad de los huevos volteados de 2 a 10 veces al día se muestran en el cuadro.

Veces de volteado al día	Porcentaje de nacimiento
2	78.1 %
4	85.3 %
6	92.0 %
8	92.2 %
10	92.1 %

Aunque otros experimentos han mostrado que el volteo de los huevos cada 15 minutos no es perjudicial para la incubabilidad, se ganará muy poco si se voltean más de 6 a 8 veces al día cuando los huevos se han rotado de un lado a otro sobre su eje axial.

Nota: Cuando se lleva a cabo el proceso de volteo de los huevos, debe hacerse rápidamente, a continuación debe permitirse que los huevos permanezcan estacionados hasta el próximo volteado. Cuando los huevos estén en constante movimiento de un lado a otro, la incubabilidad disminuirá.

MECANISMO DE VOLTEO.

Como resulta indispensable mantener en movimiento los huevos a lo largo de las 24 horas del día, es prácticamente imposible mantener una estrecha vigilancia de este proceso durante todo el tiempo requerido por la incubación artificial.

Es por ello que se hace necesario diseñar un sistema electro-mecánico que se encargue de dar a los huevos este movimiento. Dicho sistema deberá estar diseñado para dar a las charolas un movimiento alternativo de 40 grados cada determinado lapso de tiempo.

A continuación mostraremos el diagrama de cada sistema y describiremos de forma breve el funcionamiento de cada uno de ellos.

SISTEMA MECANICO.

El diseño en si es muy simple, ya que solamente constará de un motor de corriente alterna, el cual se encargará de suministrar el movimiento y la potencia necesaria para soportar el peso de los huevos aunado al de las charolas colectoras, y una red de poleas cuya finalidad será la de disminuir la rapidez en el movimiento aportado por el motor.

Cada una de las poleas reducirá en una relación de 4 a 1 el movimiento del motor; es decir, el motor deberá dar 4 vueltas completas para que la primera polea de una vuelta, a su vez, esta deberá dar 4 vueltas completas para que la segunda polea de una vuelta y así sucesivamente hasta que la última polea de el movimiento a las charolas colectoras.

Cabe señalar que el número de poleas será determinada por la velocidad de movimiento deseada.

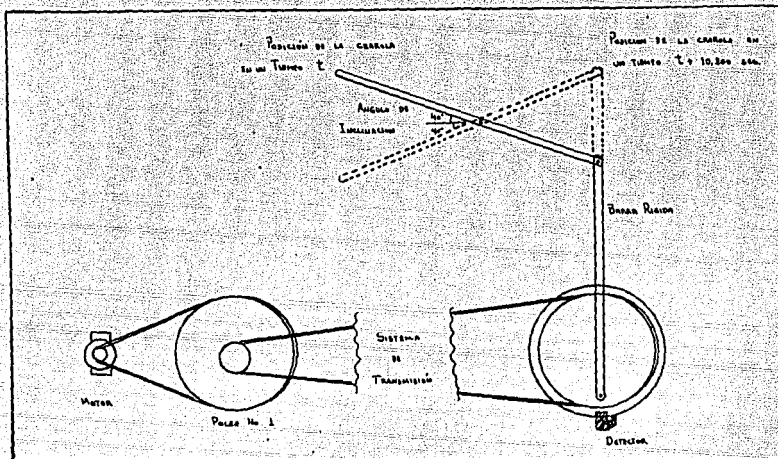


FIG 7.1 Sistema Mecánico de Volteo.

SISTEMA ELECTRONICO.

El sistema electrónico será el encargado de regular cuando y durante cuanto tiempo deberá funcionar el motor para dar el movimiento a las charolas.

Su funcionamiento es como sigue:

El control consta de un circuito integrado LM 556 (C1), conectado en forma de multivibrador astable y el cual funcionará como una señal de reloj por medio de pulsos enviados continuamente a un circuito integrado 4020 (C2) (Contador Binario) que determinará cuando debe activarse el motor que dará el movimiento a las charolas.

Si es el momento en que las charolas deban hacer su movimiento, el bit (Qn) manda una señal al UJT, el cual deberá activar al Optoacoplador MOC 3030 (C3) y junto con el triac Q200BT proporcionaran un aislamiento entre el voltaje alterno y el directo, al mismo tiempo que activaran el funcionamiento del motor.

El circuito integrado LM 555 (C4) causa un retardo de un segundo en el cual el led infrarrojo esta apagado y da oportunidad a la polea de moverse un poco, sacando de su rayo de luz al fototransistor y dejandolo listo para activar al C5 (multivibrador monoestable) cuando la polea haya dado media vuelta.

Cuando el fototransistor recibe la luz emitida por el led infrarrojo este conduce y activa al C5. Una vez que el movimiento se ha efectuado, el C5 conectado en forma de multivibrador monoestable, enviara un pulso de una duracion aproximada de 1 milisegundo al C2 al cabo del cual este debera ser puesto en cero para volver a empezar su conteo.

El circuito de control es mostrado en la fig 7.2

VENTILACION.

Movimiento de aire en un espacio cerrado producido por su circulación o desplazamiento por sí mismo. LA ventilación puede lograrse con cualquier combinación de medios de admisión y escape.

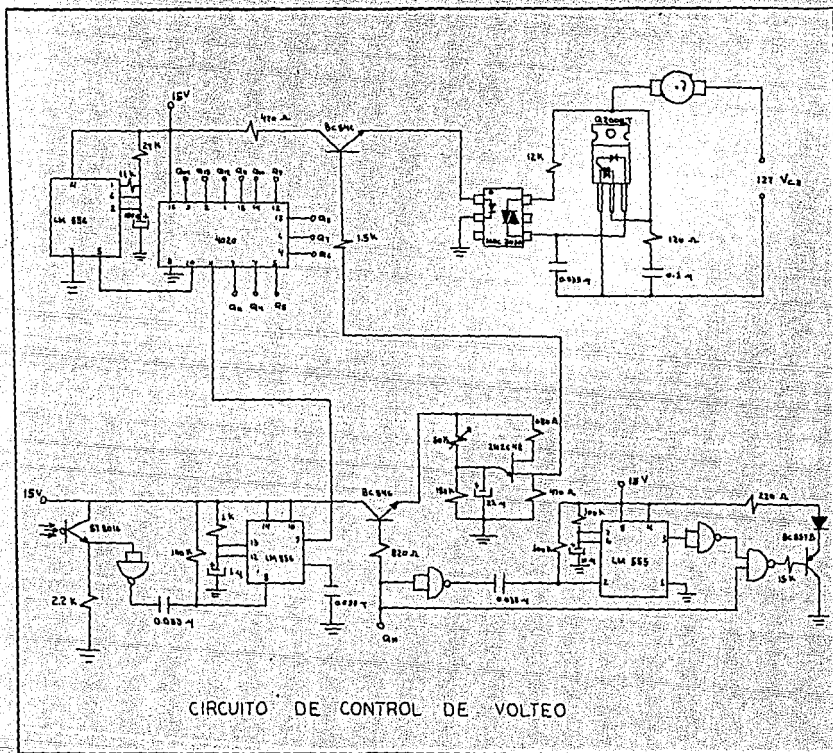


FIG 7.2

Los sistemas empleados pueden comprender operaciones parciales de calentamiento, control de humedad, filtrado o purificación, y en algunos casos, enfriamiento por evaporación.

El tratamiento más completo del aire se llama acondicionamiento.

Las causas que dan lugar al viciamiento del aire, y por lo tanto, las que deben ser contrarrestadas por la ventilación son:

- a) El calor que desprenden los seres vivos.
- b) El calor que produce el alumbrado.
- c) El anhídrido carbónico producido por los individuos.

Una instalación de ventilación se calcula a base del volumen de aire a renovar por hora.

Este volumen no puede pasar de 10 veces el del recinto a ventilar.

La corriente de ventilación tiene que ir dirigida de abajo hacia arriba, la velocidad de entrada del aire ser uniforme y las bocas de salida del aire viciado disponerse apropiadamente o en gran número.

La manera en que se atiende a la renovación del aire viciado determina los diferentes sistemas utilizados, cuyas características principales se reúnen dando lugar a la formación de dos grupos que denominaremos ventilación natural y ventilación artificial.

VENTILACION NATURAL.

La ventilación natural es aquella que tiene lugar por la entrada directa del aire exterior a través de huecos u orificios.

Es un sistema simple pero también práctico y económico, aunque presenta la desventaja de permitir la entrada conjunta de impurezas, así como el poner bruscamente en contacto un ambiente caldeado interior, con las inclemencias climatológicas que existan exteriormente.

Por otra parte, si el sistema resuelve a satisfacción el problema de la entrada de aire nuevo, no provoca sino débilmente la expulsión del aire viciado, defecto que se acentúa conforme vaya aumentando el tamaño del local, obligando entonces a superar tal estado deficitario estableciendo una corriente de aire que forzará la circulación conveniente.

VENTILACIÓN ARTIFICIAL.

Tratándose de recintos donde exista una gran cantidad de seres vivos, la ventilación natural es deficiente y a menudo incómoda, por lo que debe recurrirse a forzar la circulación de aire por medios mecánicos, dando lugar a los sistemas de ventilación que por tal motivo se denominan mecánicos o artificiales.

La mejor solución será recurrir a un sistema de ventilación equilibrada. En el, un ventilador dispuesto en un hueco abierto en la pared, aportará al local el aire nuevo que precise para su renovación del ambiente, mientras que otro ventilador o un orificio de evacuación, expulsará al exterior el aire viciado.

El cálculo de los pies cúbicos de aire nuevo por minuto necesarios para renovar el ambiente, se determinará por medio de las operaciones que se especifican en el parrafo siguiente.

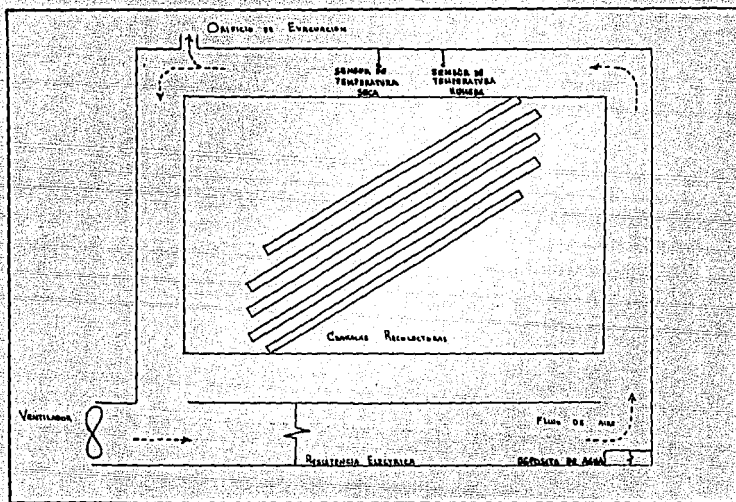


FIG 7.3 Esquema Básico de la Incubadora.

- La ventilación de un recinto de tipo medio, requiere la renovación del aire continuamente cada 2 minuto aproximadamente.
- Para determinar la capacidad del ventilador, se dividirá el volumen del local por el número de minutos necesarios para la renovación total del ambiente, en este caso 2.

El resultado dará una cifra que corresponderá al pie cúbico de aire por minuto (PCM), o sea, la cantidad de aire que debe suministrar el ventilador en este tiempo.

La ventilación se regula de acuerdo con la cantidad de huevos cargados, de manera que si la máquina va a $1/3$ de la carga, las trampillas de ventilación se abren solamente $1/3$, si por el contrario existe $1/2$ carga, se abrirán $1/2$ de su abertura total, mientras que si la carga es total, la máquina deberá trabajar casi con todas sus ventanillas abiertas.

En caso de que la humedad sea excesivamente baja, las trampillas se cerrarán hasta que dicha humedad alcance la cifra deseada.

CONCLUSIONES.

La electrónica en cualquiera de sus ramos; analógica o digital ha evolucionado enormemente en muy pocos años y se ha expandido a infinidad de campos en los cuales es aplicada con un propósito, facilitar las tareas humanas y a la vez aumentar la eficiencia de los sistemas de producción.

El presente trabajo tuvo el propósito fundamental de contribuir aunque fuera en mínima proporción a elevar el nivel actual de la tecnología utilizada en el área avícola.

El dispositivo diseñado se desarrollo como un controlador digital para un proceso de incubación artificial, el cual de acuerdo a sus características puede ser utilizado en una amplia variedad de especies avícolas, esto se hace posible con solo variar las referencias especificadas en el Software de control.

Otra ventaja que presenta el sistema es que debido al tipo de componentes que lo constituyen, las variaciones de temperatura del medio ambiente no afectan su funcionamiento, lo cual es muy conveniente en sistemas destinados a uso en gran escala.

El emplear un microprocesador Z-80 en el diseño del controlador, la velocidad y capacidad de almacenamiento de datos permiten que el tiempo de procesamiento de información sea de solo unos segundos haciendo posible expandir el sistema y controlar otras variables en tiempo compartido.

En cuanto a la etapa del Software se puede decir que la función PID empleada incrementa la eficiencia y permite alcanzar la temperatura de referencia con mayor estabilidad y menor oscilación que los ON-OFF y los PROPORCIONALES.

Una característica de la señal de control es que el tiempo de entrega de potencia depende del factor de corrección calculado por el algoritmo PID siendo posible la variación de la constante de proporcionalidad; opcionalmente puede variarse el tiempo de espera entre dos evaluaciones de acuerdo a las características de la incubadora.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, se observa que la máquina incubadora diseñada en esta tesis, proporciona ventajas suficientes para competir y aun superar a las ya existentes en versatilidad, rango y funciones.

APENDICE A

SOFTWARE DEL CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD.

DEFINICION DE LAS SUBROUTINAS INTERNAS DEL MICROKIT.

BUF3	EQU	2BD4H
BUF4	EQU	2E09H
CONVI	EQU	05B4H
LIMPIA	EQU	05BFH
DESP1	EQU	0574H

LOCALIDADES DE MEMORIA DEL TERMOMETRO DIGITAL.

DBCD	DEFS 2	SENSOR.
INDICE	DEFS 1	RETARDO.
DES	DEFS 4	GRAD+0= TEMP. SECA.
GRAD	DEFS 2	GRAD+1= TEMP. HUMEDA.

LOCALIDADES DE MEMORIA DEL CONTROL PID.

INICE	DEFS 2	ERROR INICIAL.
ESTADE	DEFS 2	ERROR ESTADISTICO.
FINALE	DEFS 2	ERROR FINAL.
SENSATE	DEFS 2	TEMP. SENSADA.
REFTEMP	DEFS 2	TEMP. REFERENCIA.
SIGNER	DEFS 1	SIGNO DEL ERROR FINAL Y PID1.
SESTAD	DEFS 1	SIGNO DEL ERROR ESTADISTICO Y PID2.
SDERI	DEFS 1	SIGNO DE PID3.
SPID	DEFS 1	SIGNO DE LA FUNCION PID.
PID1	DEFS 2	TOTAL DE LA FUNCION PROPORCIONAL.
PID2	DEFS 2	TOTAL DE LA FUNCION INTEGRAL.
PID3	DEFS 2	TOTAL DE LA FUNCION DERIVATIVA.
SINICE	DEFS 1	SIGNO DEL ERROR INICIAL.
PID	DEFS 2	TOTAL=PID1+PID2+PID3.
HUMTEMP	DEFS 2	TEMP. HUMEDA DE REFERENCIA.
PT	DEFS 1	
PH	DEFS 1	

INICIALIZA CON CERO LAS LOCALIDADES DE MEMORIA.

LLÖCMEN:	LD	HL,00H
	LD	(SINICE),HL
	LD	(ESTADE),HL
	LD	(SESTAD),HL
	LD	(SDERI),HL
	LD	(SINICE),HL
	LD	(HUMTEMP),HL
	RET	

SUBROUTINA GENERADORA DE LA FUNCION RAMPA.

INICIO:	LD	A,00H
CTA:	OUT	(04H),A
	LD	(DBCD),A
	LD	E,A
	LD	(SENSATE),DE

	LD	A, 04H	! LOCALIDAD DONDE SE ! GUARDA EL RETARDO
			! 01 MINIMO RETARDO
			! FF MAXIMO RETARDO
RETARD:	LD	(INDICE), A	
	NOP		
	OR	A	
	LD	A, (INDICE)	
	DEC	A	
	JR	NZ, RETARD	
	IN	A, (06H)	
	CALL	DETP	
	SRL	A	
	RET	NC	
	LD	A, (DIRCD)	
	INC	A	
	JR	CTA	

SUBROUTINA DE CAMBIO DE CONTROL.

DEPT:	PUSH	AF
	LD	A, 00H
	CP	C
	JR	NZ, AJUSTA
	POP	AF
AJUSTA:	RET	AF
	POP	A
	SRL	
	RET	

SUBROUTINA DE MULTIPLICACION DE 8 BITS.

MULTI:	OR	A	
	LD	B, 00H	
	LD	HL, 0000H	
	LD	D, 00H	! ENTRADAS
			! DE = MULTIPLICANDO
			! C = MULTIPLICADOR
SUMA:	SLA	C	
	JR	NC, ROTA	
	SLA	L	! SALIDAS
			! HL = PRODUCTO
			! MODIFICA: REGISTRO B
ROTA:	RL	H	
	ADD	HL, DE	
	DJNZ	SUMA	
	RET	L	
	SLA	H	
	RL	SUMA	
	DJNZ		
	RET		

SUBROUTINA DE DIVISION DE 16 BITS.

DIVIDE:	OR	A
	LD	A, 16H
	LD	HL, 0000H

ROT:	SLA	C	ENTRADAS: BC = DIVIDENDO
	RL	B	DE = DIVISOR
	RL	L	SALIDAS: BC = COCIENTE
	RL	H	HL = RESIDUO
	SBC	HL, DE	MODIFICA: REGISTRO A
	JR	C, ESN	
	SET	0, C	
	DEC	A	
	JR	Z, RND	
	JR	ROT	
EBN:	ADD	HL, DE	
	DEC	A	
	JR	NZ, ROT	
RND:	OR	A	
	LD	A, 0CEH	
	ADD	A, L	
	RET	NC	
	INC	BC	
	RET		

SUBROUTINA DE EVALUACION Y ANALISIS DE ERROR.

EVALUAE:	LD	H, 00H
	LD	D, 00H
	OR	A, A
	SBC	HL, DE
	JR	C, BAYA
	LD	A, 00H
	RET	
BAYA:	CALL	COMPDOS
	RET	

SUBROUTINA DE CONTROL PROPORCIONAL.

CTRPROP:	LD	DE, (FINALE)
	LD	A, 0A9H
	CALL	MULTI
	LD	C, L
	LD	B, H
	LD	D, 00H
	LD	E, 64H
	CALL	DIVIDE
	LD	(PID1), BC
	RET	

SUBROUTINA DE CONTROL INTEGRAL.

CTRINI:	LD	BC, (ESTADE)
	LD	DE, (FINALE)
	LD	A, (SIGNER)
	LD	L, A
	LD	A, (SESTAD)
	CALL	ANASIG
	LD	(ESTADE), HL
	LD	(SESTAD), A
	LD	E, L
	LD	D, H
	LD	C, 25H

CALL	MULTI
LD	C,L
LD	B,H
LD	D,00H
LD	E,64H
CALL	DIVIDE
LD	(PID2),BC
RET	

SUBROUTINA DE CONTROL DERIVATIVO.

CTRDER:	LD	BC, (FINALE)
	LD	DE, (INICE)
	LD	A, (SINICE)
	SRL	A
	CCF	
	RL	A
	LD	L,A
	LD	A, (SIGNER)
	CALL	ANASIG
	LD	(SDERI),A
	LD	E,L
	LD	D,H
	LD	C,13H
	CALL	MULTI
	LD	C,L
	LD	B,H
	LD	D,00H
	LD	E,64H
	CALL	DIVIDE
	LD	(PID3),BC
	LD	HL, (FINALE)
	LD	(INICE),HL
	LD	A, (SIGNER)
	LD	(SINICE),A
	LD	BC, (PID1)
	LD	DE, (PID2)
	LD	A, (SESTAD)
	LD	L,A
	LD	A, (SIGNER)
	CALL	ANASIG
	PUSH	HL
	POP	BC
	LD	DE, (PID3)
	PUSH	AF
	LD	A, (SDERI)
	LD	L,A
	POP	AF
	CALL	ANASIG
	LD	(SPID),A
	LD	(PID),HL
	RET	

SUBROUTINA DE ANALISIS DE SIGNO.

ANASIG:	SLA	A
	ADD	A,L
	CP	00H

	JR	Z, POSPOS
	CP	03H
	JR	Z, NEGNEG
	CP	01H
	JR	Z, POSNEG
NEGPOS:	PUSH	DE
	POP	HL
	OR	A
	SBC	HL, BC
	JR	C, COMPDOS
	LD	A, 00H
	RET	

BUBRUTINA DE COMPLEMENTACION A2.

COMPDOS:	LD	E, L
	LD	D, H
	LD	HL, 00H
	OR	A, A
	SBC	HL, DE
	LD	A, 01H
	RET	
POSPOS:	LD	A, 00H
IGUANAS:	PUSH	DE
	POP	HL
	ADD	HL, BC
	RET	
NEGNEG:	LD	A, 01H
	JR	IGUANAS
POSNEG:	PUSH	BC
	PUSH	DE
	POP	BC
	POP	DE
	JR	NEGPOS

SUBRUTINA DE MODULACION DE POTENCIA PARA CONTROL DE TEMPERATURA.

MOD:	LD	A, (SPID)
	SRL	A
	JR	C, OFFPOT
	LD	A, 10H
	CALL	TMASH
SACA:	LD	HL, (PID)
	LD	B, 02H
ITERA:	LD	DE, (PID)
	LD	DE, 0001H
	OUT	(06H), A
	DJNZ	ITERA
	OR	A
	SBC	HL, DE
	LD	(PID), HL
	JR	NC, SACA
	RET	
OFFPOT:	LD	A, 00H
	CALL	TMASH
	OUT	(06H), A
	RET	

SUBROUTINA DE ACOPLO DE CONSTANTES 1

TMASH: LD (PT),A
 LD B,A
 LD A,(PH)
 ADD A,B
 RET

SUBROUTINA DE ACOPLO DE CONSTANTES 2

HMAST: LD (PH),A
 LD B,A
 LD A,(PT)
 ADD A,B
 RET

SUBROUTINA DE MODULACION DE POTENCIA PARA CONTROL DE HUMEDAD.

CTRHM: LD HL,(HUMTEMP)
 CALL EVALUAE
 SRL A
 JR C,NOVAP
 LD A,20H
 CALL HMAST
 SAC: OUT (06H),A
 RET
 NOVAP: LD A,00H
 CALL HMAST
 JR SAC

PROGRAMA PRINCIPAL.

START: CALL LLOCNEN
 LD A,83H
 OUT (07H),A
 LD DE,00ACH
 LD (REFTEMP),DE
 LD DE,00D6H
 LD (HUMTEMP),DE
 INICIO: LD C,00H
 CALL INICIO
 LD A,E
 LD (GRAD+0),A
 CALL NOVAP
 LD HL,(REFTEMP) ;CARGAMOS HL CON LA
 ;TEMP.DE REFERENCIA
 LD DE,(SENSATE) ;CARGAMOS DE CON LA
 ;TEMP. SENSADA
 CALL EVALUAE
 LD (FINALE),HL ;CARGAMOS HL CON EL
 ;ERROR FINAL
 LD (SIGNER),A
 CALL CTRPROP
 CALL CTRINT
 CALL CTRDER
 CALL NOVAP
 CALL MOD

```

LD      C:01H
CALL   INICIO
LD      A,E
LD      (GRAD+1),A
CALL   CTRHUM
JR      INICII

```

COMENTARIO.

Con la finalidad de obtener un amplio panorama sobre el comportamiento de un controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) y a fin de simplificar la búsqueda de las constantes K_p , K_d y K_i que satisfagan las necesidades de nuestro control de temperatura y humedad se recurrió a la ayuda de la programación en lenguaje Basic.

Con la ayuda de este programa fue posible de una manera sumamente sencilla (cambiando cada una de las constantes) lograr una gráfica cuyas características tuvieran un mínimo de oscilaciones y una rápida estabilización. El programa, así como la gráfica resultante es mostrada a continuación:

PROGRAMA PARA EL CALCULO DE LAS CONSTANTES K_p , K_d y K_i .

```

1      GCLEAR
10     GINIT
20     GRAPHICS ON
30     Yy=40
40     Xx=150
50     WINDOW -12,Xx,10,Yy
60     CSIZE 3.5,0.35
70     LORG 6
80     FOR X=0 TO Xx STEP 10
90     LINE TYPE 1
100    MOVE X,19 ! Numeracion para el eje X
110    LABEL X*2
120    LINE TYPE 4.2
130    MOVE X,Yy-2 ! Lineas verticales
140    DRAW X,19
150    NEXT X
160    LORG 8
170    FOR Y=19 TO Yy-1 STEP 1.5
180    LINE TYPE 1
190    MOVE 0,Y ! Numeracion para el eje Y
200    LABEL Y
210    LINE TYPE 4.2
220    MOVE 0,Y
230    DRAW Xx,Y ! Lineas horizontales
240    NEXT Y
250    LINE TYPE 1
260    MOVE 15,47.4
270    CSIZE 4,0.4
280    LABEL "TEMPERATURA C "
290    REFTEMP=37.7 ! Temperatura de referencia
300    SENSATE=21 ! Temperatura sensada
310    TS=SENSATE
320    KP=169 ;DATO VARIABLE

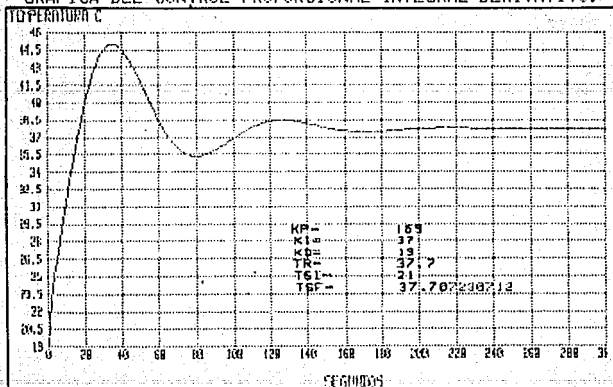
```

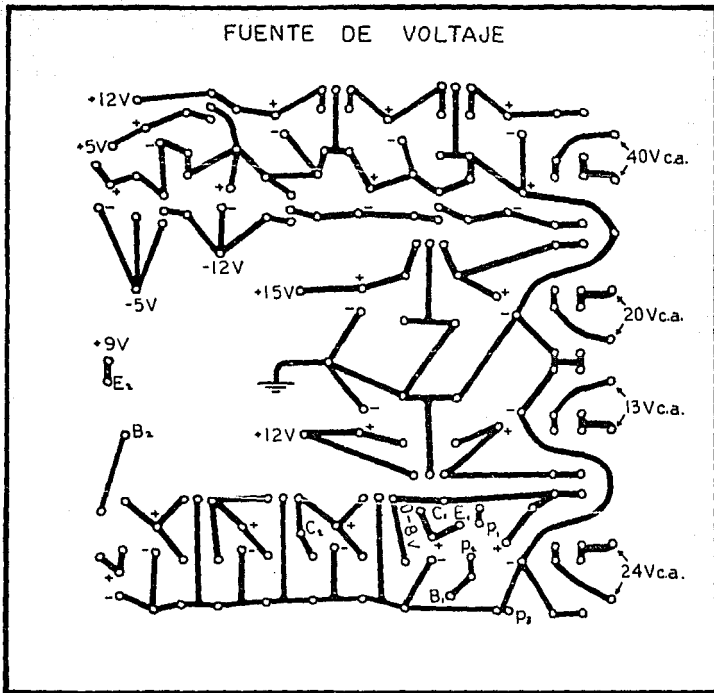
```

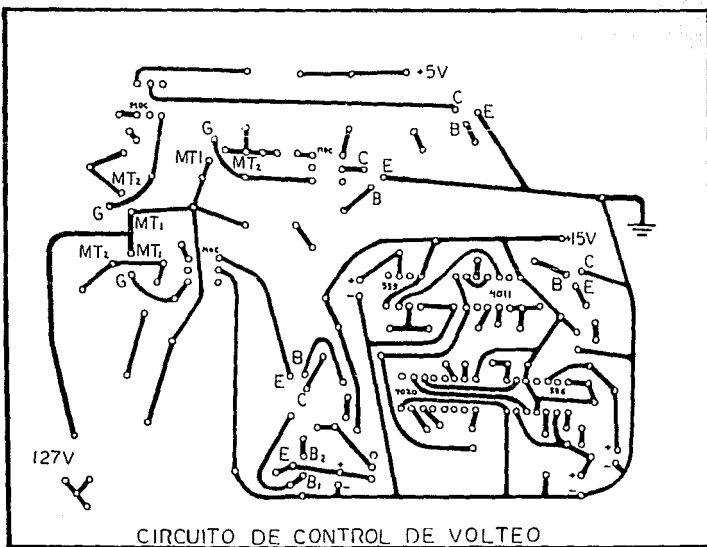
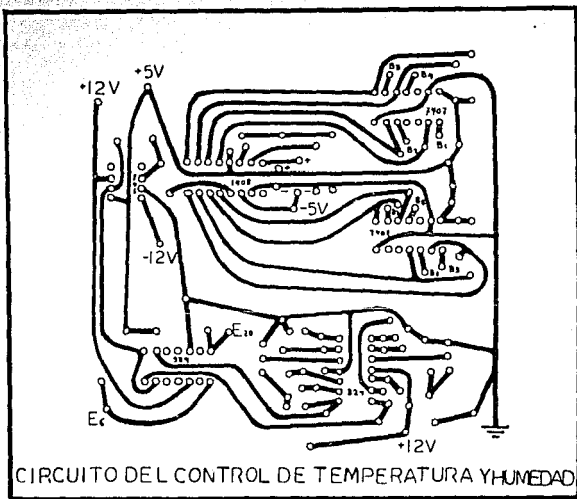
330      KI=37          ;DATO VARIABLE
340      KD=19         ;DATO VARIABLE
350      DIN=1/18      ! Constante de tiempo de encendido
360      INICE=0       ! del elemento calefactor
370      ESTADE=0
380      MOVE 0,19
390      X=0
400      INICIO:      FINALE = REFTEMP - SENSATE
410                      PID1 = FINALE * KP/100
420                      ESTADE = ESTADE + FINALE
430                      PID2 = ESTADE * KI/100
440                      PID3 = (FINALE-INICE) * KD/100
450                      INICE = FINALE
460                      PID = PID1 + PID2 + PID3
470                      SENSATE = SENSATE + DIN * PID
480                      X = X+1 ! Tiempo
490      DRAW X,SENSATE ! Impresión de la
500      IF X < Xx THEN INICIO      curva
510      CSIZE 3,0.7
520      MOVE 104,29
530      LABEL " KP= ",Kp
540      MOVE 102,28
550      LABEL " Ki= ",Ki
560      MOVE 102,27
580      LABEL " Kd= ",Kd
590      MOVE 107,26
600      LABEL " TR= ",REFTEMP
610      MOVE 102,25
620      LABEL " TSI= ",Ts
630      MOVE 128,24
640      LABEL " TSF= ",SENSATE
650      MOVE 90,16
660      CSIZE 4,0.4
670      LABEL " SEGUNDOS "
680      END

```

GRAFICA DEL CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO.







APENDICE C.

LISTA DE MATERIALES.

Para el Control de Temperatura y Humedad.

Material.	Costo.	Total.
1 C.I MC 1408 Convertidor D/A 8 BITS.	\$ 6300	\$ 6300
1 C.I LM 324 4 Amp. Operacionales.	\$ 1450	\$ 1450
1 C.I LM 741 1 Amp. Operacionales.	\$ 1500	\$ 1500
1 C.I LM 339 4 Comparadores.	\$ 1000	\$ 1000
2 C.I LS7407 4 Buffers.	\$ 1200	\$ 2400
2 Diodos Rectificadores 1N4148.	\$ 100	\$ 100
1 Capacitor 4.7 microfarad.	\$ 150	\$ 150
1 Capacitor 0.1 microfarad.	\$ 100	\$ 100
30 Resistencias varios valores.	\$ 40	\$ 1200
2 Potenciómetro de precisión de 50 K.	\$ 7000	\$ 14000

Para los Circuitos de Potencia (Temperatura y Humedad).

2 C.I MOC 3030 Optoacoplador.	\$ 2650	\$ 5300
2 Transistor BC 546A.	\$ 350	\$ 700
2 Triac Q200BLT.	\$ 3000	\$ 6000
6 Resistencias varios valores.	\$ 40	\$ 240
1 Potenciómetro de Precisión de 200 K.	\$ 9000	\$ 9000
2 Resistencias Eléctricas.	\$ 1200	\$ 2400

TOTAL.....\$51840

Material: Costo: Total:

Para el Control de Voltaje.

1 C.I NC1 4020B Contador de 14 Estados.	\$ 2400	\$ 2400
1 C.I LM 556	\$ 3100	\$ 3100
1 C.I LM 555	\$ 1200	\$ 1200
1 C.I 4011B 4 Compuertas Nand.	\$ 1200	\$ 1200
1 C.I MOC 3030 Optoacoplador.	\$ 2650	\$ 2650
1 Triac Q208BLT.	\$ 3000	\$ 3000
2 Transistores BC 546.	\$ 350	\$ 700
1 Transistor BC 557B.	\$ 350	\$ 350
1 Foto Transistor ST 8016.	\$ 2000	\$ 2000
1 UJT 2N2648.	\$ 2300	\$ 2300
17 Resistencias varios valores.	\$ 40	\$ 680
9 Capacitores varios valores	\$	\$ 1720
1 Led Infrarrojo.	\$ 900	\$ 900

Equipo de Apoyo (Fuente de Voltaje).

1 Transformador Múltiple de 127-24 V. 3 A.	\$ 180	\$ 2160
12 Diodos 1N4003.	\$ 600	\$ 2400
4 Diodos MR502.	\$ 180	\$ 360
2 Diodos 1N4001.	\$ 1500	\$ 4500
3 Reguladores de Voltaje 7815.	\$ 1500	\$ 4500
3 Reguladores de Voltaje 7812.		
TOTAL.....		\$36120

Material.	Costo.	Total.
1 Regulador de voltaje 7818.	\$ 1500	\$ 1500
1 Regulador de Voltaje 7915.	\$ 2000	\$ 2000
1 Regulador de Voltaje 7912.	\$ 2000	\$ 2000
1 Regulador de Voltaje 7805.	\$ 1000	\$ 1000
1 Regulador de Voltaje 7905.	\$ 1500	\$ 1500
2 TIP 120.	\$ 1600	\$ 3200
1 Resistencia de 33 K.	\$ 40	\$ 40
1 Resistencia de 27 K.	\$ 40	\$ 40
1 Potencimetro de 10 K.	\$ 7000	\$ 7000
41 Capacitores varios valores.	\$	\$27030
TOTAL.....		\$45310

APENDICE D.

CARACTERISTICAS DE LOS CIRCUITOS INTEGRADOS.

MOTOROLA

Specifications and Applications Information

EIGHT BIT MULTIPLE VOLT DIGITAL TO ANALOG CONVERTER

This integrated circuit converts an 8-bit digital number into an analog voltage. It is available in two versions: 5V and 10V. The 5V version is designated MC1408 and the 10V version is designated MC1508. The MC1408 is available in a standard 8-pin DIP package and the MC1508 is available in a standard 8-pin DIP package. The MC1408 is also available in a standard 8-pin DIP package. The MC1508 is also available in a standard 8-pin DIP package.

The MC1408 and MC1508 are available in two versions: 5V and 10V. The 5V version is designated MC1408 and the 10V version is designated MC1508. The MC1408 is available in a standard 8-pin DIP package and the MC1508 is available in a standard 8-pin DIP package.

The MC1408 and MC1508 are available in two versions: 5V and 10V. The 5V version is designated MC1408 and the 10V version is designated MC1508. The MC1408 is available in a standard 8-pin DIP package and the MC1508 is available in a standard 8-pin DIP package.

MC1408
MC1508

EIGHT BIT MULTIPLE VOLT DIGITAL TO ANALOG CONVERTER

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Pin 1: VCC
Pin 2: IREF
Pin 3: IREF
Pin 4: IREF
Pin 5: IREF
Pin 6: IREF
Pin 7: IREF
Pin 8: VREF

TYPICAL APPLICATIONS

- Analog-to-digital converter
- Digital-to-analog converter
- Data acquisition system
- Digital-to-analog converter
- Digital-to-analog converter
- Digital-to-analog converter
- Digital-to-analog converter
- Digital-to-analog converter

**MOTOROLA****B SUFFIX SERIES CMOS GATES**

The B Series logic gates are constructed with P and N channel n⁺ enhanced mode devices in a single monolithic structure (Complete MOS). Their primary use is where low power dissipation and/or high noise immunity is desired.

- Supply Voltage Range - 3.0 Vdc to 18 Vdc
- All Outputs Buffered
- Capable of Driving Two Low-power TTL Loads or One Low-power Schottky TTL Load Over the Rated Temperature Range
- On-Chip Diode Protection on All Inputs
- Pin for Pin Replacements for Corresponding CD4000 Series B Suffix Devices



**B SUFFIX
CMOS PACKAGE
CASE 632**



**P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 638**

ORDERING INFORMATION

- A Series - 14C01 - 14C02
MC14001B - 14C02B Plastic Package
MC14001B - 14C02B CMOS Package
- C Series - 14C03 - 14C04
MC14003B - 14C04B Plastic Package
MC14003B - 14C04B CMOS Package

MAXIMUM RATINGS* (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{DD}	DC Supply Voltage	0 to 18	Vdc
V_{in} , V_{out}	Input or Output Voltage (DC or Transient)	0 to V_{DD}	Vdc
I_{in} , I_{out}	Input or Output Current (DC or Transient)	±10	mA
P_D	Power Dissipation (see Package Type)	See Table 1	mW
T_{stg}	Storage Temperature	-55 to 125	°C
T_{op}	Operating Temperature (see Table 1)	-55 to 125	°C

*Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device or actual Temperature Derating (Table 1) may occur. For 14C01 to 14C04, V_{DD} is 0V to 18V, I_{in} is 0 to 10mA, and I_{out} is 0 to 10mA.

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high impedance input. For 3-input to 8-input, V_{in} and V_{out} should be constrained to the range $V_{SS} \leq (V_{in} \text{ or } V_{out}) \leq V_{DD}$. Unrated inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (0 or 1, either V_{SS} or V_{DD}). Unused outputs must be left open.

MC14001B
Quad 2-Input NOR Gate

MC14002B
Dual 4-Input Nor Gate

MC14011B
Quad 2-Input NAND Gate

MC14012B
Dual 4-Input NAND Gate

MC14023B
Triple 3-Input NAND Gate

MC14025B
Triple 3-Input NOR Gate

MC14068B
8-Input NAND Gate

MC14071B
Quad 2-Input OR Gate

MC14072B
Dual 4-Input OR Gate

MC14073B
Triple 3-Input AND Gate

MC14075B
Triple 3-Input OR Gate

MC14078B
8-Input NOR Gate

MC14081B
Quad 2-Input AND Gate

MC14082B
Dual 4-Input AND Gate

CMOS SSI

(LOW-POWER COMPLEMENTARY MOS)

B SERIES GATES

B-SERIES GATE SWITCHING TIMES

SWITCHING CHARACTERISTICS* $C_L = 50 \text{ pF}$, $V_A = 75 \text{ V}$, C_I

Characteristic	Symbol	VDD Vdc	Min	Typ #	Max	Unit			
Output Rise Time, All B-Series Gates $t_{PLH} = 15 \text{ ns/pF } C_L + 33 \text{ ns}$ $t_{PLH} = 10 \text{ ns/pF } C_L + 20 \text{ ns}$ $t_{PLH} = 10 \text{ ns/pF } C_L + 20 \text{ ns}$	tPLH	5.0	—	100	200	ns			
		10	—	50	100				
		15	—	40	80				
Output Fall Time, All B-Series Gates $t_{PHL} = 11.75 \text{ ns/pF } C_L + 23 \text{ ns}$ $t_{PHL} = 10 \text{ ns/pF } C_L + 20 \text{ ns}$ $t_{PHL} = 10 \text{ ns/pF } C_L + 20 \text{ ns}$	tPHL	5.0	—	100	200	ns			
		10	—	50	100				
		15	—	40	80				
Propagation Delay Time MC14001B, MC14011B only $t_{PLH} = t_{PHL} = 10.90 \text{ ns/pF } C_L + 8.0 \text{ ns}$ $t_{PLH} = t_{PHL} = 10.36 \text{ ns/pF } C_L + 3.2 \text{ ns}$ $t_{PLH} = t_{PHL} = 10.26 \text{ ns/pF } C_L + 2.7 \text{ ns}$ All Other 2, 3, and 4 Input Gates $t_{PLH} = t_{PHL} = 10.90 \text{ ns/pF } C_L + 1.15 \text{ ns}$ $t_{PLH} = t_{PHL} = 10.26 \text{ ns/pF } C_L + 4.7 \text{ ns}$ $t_{PLH} = t_{PHL} = 10.26 \text{ ns/pF } C_L + 3.7 \text{ ns}$ B Input Gates (MC14002B, MC14018B) $t_{PLH} = t_{PHL} = 10.90 \text{ ns/pF } C_L + 1.65 \text{ ns}$ $t_{PLH} = t_{PHL} = 10.36 \text{ ns/pF } C_L + 6.2 \text{ ns}$ $t_{PLH} = t_{PHL} = 10.26 \text{ ns/pF } C_L + 4.7 \text{ ns}$	tPLH, tPHL	5.0	—	175	250	ns			
		10	—	10	100				
		15	—	40	80				
		5.0	—	160	300				
		10	—	65	130				
		15	—	50	100				
		5.0	—	200	350				
		10	—	80	150				
		15	—	60	110				
Characteristic	Symbol	VDD Vdc	t _{rise} ^a		25°C		t _{fall} ^b		Unit
Output Voltage $V_O = V_{DD} \text{ or } 0$	V _{O1}	5.0	—	0.15	—	0	0.05	—	ns
		10	—	0.15	—	0	0.05	—	
$V_{IN} = 0 \text{ or } V_{DD}$	V _{O2}	5.0	4%	—	4.95	5.0	—	4.95	V _{OL}
		10	9.9%	—	9.95	10	—	9.9%	
Input Voltage $V_{IN} = 0 \text{ or } 1.5 \text{ Vdc}$	V _{I1}	5.0	—	1.5	—	2.2	1.5	—	V _{OL}
		10	—	1.0	—	1.62	1.0	—	
		15	14.9%	—	14.9%	15	—	14.5%	
		5.0	3%	—	2.5	2.5	—	3%	V _{OL}
$V_{IN} = 1.0 \text{ or } 9.0 \text{ Vdc}$ $V_{IN} = 1.5 \text{ or } 13.5 \text{ Vdc}$	V _{I2}	10	7.0	—	7.0	5.53	—	7.0	
		15	11.0	—	11.0	8.25	—	11.0	
		5.0	-3.0	—	-2.4	4.7	—	-1.1	-max
		5.0	0.64	—	-0.51	0.88	—	0.35	
$V_{IN} = 9.5 \text{ Vdc}$ $V_{IN} = 11.5 \text{ Vdc}$	V _{I3}	10	1.0	—	-1.2	2.25	—	0.9	
		15	4.2	—	-2.4	3.8	—	2.4	
		5.0	0.44	—	0.51	0.44	—	0.38	-max
		10	1.6	—	1.2	2.7	—	1.6	
$V_{IN} = 1.5 \text{ Vdc}$ $V_{IN} = 0.5 \text{ Vdc}$	V _{I4}	15	4.4	—	3.8	3.8	—	2.4	
		5.0	-2.5	—	-2.4	4.2	—	-1.1	
		5.0	0.64	—	0.44	-0.88	—	-0.35	
		10	1.3	—	1.1	2.25	—	0.9	
$V_{IN} = 11.5 \text{ Vdc}$ $V_{IN} = 0.4 \text{ Vdc}$	V _{I5}	15	-2.6	—	3.0	3.8	—	2.4	
		5.0	0.44	—	0.44	0.44	—	0.35	-max
		10	1.2	—	1.1	2.7	—	1.6	
		15	3.8	—	3.0	4.4	—	2.4	
Input Currents (All B-Series) $V_{IN} = 0$	I _{IN}	5.0	—	—	—	15	—	—	μA
		10	—	—	—	10	—	—	
Input Current (All EP Devices) $V_{IN} = 0$	I _{IN}	5.0	—	—	—	5.0	—	—	μA
		10	—	—	—	7.5	—	—	
Threshold Equivalent Input Current (For Fan-Out)	I _{DD}	5.0	—	0.25	—	0.0005	0.25	—	7.5 μA
		10	—	0.50	—	0.0010	0.50	—	15.0
		15	—	1.00	—	0.0015	1.00	—	30.0
Threshold Equivalent Input Current (For Fan-Out)	I _{DD}	5.0	—	1.0	—	0.0005	1.0	—	7.5 μA
		10	—	2.0	—	0.0010	2.0	—	15.0
		15	—	4.0	—	0.0015	4.0	—	30.0
Input Supply Currents ^c (Including gate thresholds) For Gate $C_L = 50 \text{ pF}$	I _I	5.0	—	—	—	1.1	—	—	μA
		10	—	—	—	1.1	—	—	
		15	—	—	—	1.1	—	—	

**MOTOROLA****MC14020B****14-BIT BINARY COUNTER**

The MC14020B 14-bit binary counter is constructed with MOS P channel and N channel enhancement mode devices in a single monolithic structure. This part is designed with an input wave shaping circuit and 14 stages of ripple carry binary counter. The device advances the count on the negative going edge of the clock pulse. Applications include time delay, counters, counter control, and frequency dividing circuits.

- Fully Static Operation
- Diode Protection on All Inputs
- Supply Voltage Range = 2.0 Vdc to 18 Vdc
- Capable of Driving Two Low-power TTL Loads or One Low-power Schottky TTL Load Over the Rated Temperature Range
- Buffered Outputs Available from stages 1 and 4 thru 14
- Common Reset Line
- Pin for Pin Replacement for CD4020B

CMOS MSI

LOW POWER COMPLEMENTARY MOS

14-BIT BINARY COUNTER

L SUFFIX
CIP™ 16-PIN PACKAGE
CASE 620

D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 649

ORDERING INFORMATION

A for 16-PIN PACKAGE
D for 14-PIN PACKAGE
MC14020B-16P
MC14020B-14P
MC14020B-16P
MC14020B-14P

MAXIMUM RATINGS (Voltages Referenced to V_{SS})

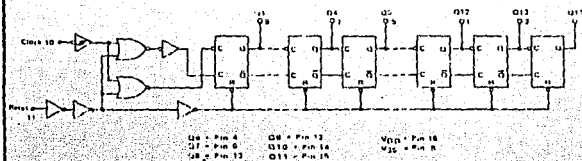
Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{CC}	DC Supply Voltage	0.5 to 18.0	V
V _{IN} , V _{OUT}	Input or Output Voltage (DC or Transient)	0.5 to V _{CC} - 0.5	V
I _{IN} , I _{OUT}	Input or Output Current (DC or Transient) per Pin	± 52	mA
P _D	Power Dissipation per Package	500	mW
T _{STG}	Storage Temperature	-65 to +150	°C
T _{OP}	Operating Temperature (See Soldering)	0 to 70	°C

Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.
 • Soldering: Wave Soldering: P Package 120W, C Term AS C to 25°C
 Ceramic S Package 120W, C Term 100°C to 175°C

TRUTH TABLE

CLOCK	RESET	OUTPUT STATE
0	0	No Change
0	1	Assume to next state
1	1	Assume to next state

0 = High Level

LOGIC DIAGRAM

ELECTRICAL CHARACTERISTICS											
Characteristic	Symbol	VDD Vdc	Tamb*		25°C		Tamb*		Unit		
			Min	Max	Min	Typ †	Max	Min		Max	
Output Voltage V _{OH} = VDD or 0	V _{OH}	5.0	—	0.00	—	0	0.05	—	mV		
		10	—	0.05	—	0	0.05	—	10%		
		15	—	0.15	—	0	0.05	—	0.05		
V _{OL} = 0 or VDD	V _{OL}	5.0	4.95	—	4.95	5.0	—	4.95	V _{OL}		
		10	9.95	—	9.95	10	—	9.95	—		
		15	14.95	—	14.95	15	—	14.95	—		
Output Voltage (V _G = 4.5 or 0.5 Vdc) (V _G = 0.0 or 1.0 Vdc) (V _G = 1.5 or 1.5 Vdc)	1 level	V _{OL}	5.0	—	3.0	—	2.75	1.5	—	1.5	
			10	—	3.0	—	4.50	1.0	—	3.0	
			15	—	4.0	—	6.75	4.0	—	4.2	
	1 level	V _{OH}	5.0	2.5	—	2.5	2.15	—	3.5	V _{OH}	
			10	1.0	—	1.0	5.50	—	1.0	—	
			15	11.0	—	11.0	8.25	—	11.0	—	
Input Drive Current I _{ih} (Source)	I _{ih}	5.0	-1.0	—	2.4	4.2	—	1.7	—	mA	
		5.0	-1.0	—	0.51	0.08	—	0.38	—	—	
		10	0.4	—	1.1	2.25	—	2.0	—	—	
	I _{ih}	5.0	4.2	—	1.4	8.8	—	4.4	—	—	
		10	1.0	—	0.51	0.88	—	0.30	—	mA	
		15	4.2	—	1.3	2.25	—	4.0	—	—	
Input Current I _{il} (SINK)	I _{il}	5.0	0.88	—	0.51	0.88	—	0.30	—	mA	
		10	1.0	—	1.3	2.25	—	4.0	—	—	
		15	4.2	—	1.4	8.8	—	7.4	—	—	
	Output Current I _{oh} (SINK)	I _{oh}	5.0	-2.5	—	-2.1	4.2	—	-1.7	—	mA
			5.0	-0.5	—	-0.47	0.08	—	-0.38	—	—
			10	1.3	—	1.1	2.25	—	-0.2	—	—
I _{oh}		5.0	1.6	—	-3.0	8.8	—	-2.4	—	—	
		10	0.4	—	0.44	0.66	—	0.36	—	mA	
		15	1.6	—	2.4	8.8	—	2.4	—	—	
Input Current I _{ih} (SINK)	I _{ih}	15	—	-0.1	—	-0.09	0.1	—	11.7	μA	
	I _{ih}	15	—	-0.1	—	-0.09	0.1	—	11.0	μA	
Input Capacitance C _{in} (DI)	C _{in}	—	—	—	—	5.0	15	—	—	pF	
	C _{in}	—	—	—	—	5.0	15	—	—	pF	
Input Current I _{ih} (SINK) (P _{in} Factor)	I _{ih}	5.0	—	5.0	—	0.065	1.0	—	11.2	μA	
	I _{ih}	10	—	10	—	0.010	10	—	10*	μA	
Output Current I _{oh} (SINK) (P _{in} Factor)	I _{oh}	5.0	—	20	—	0.015	20	—	100	μA	
	I _{oh}	10	—	40	—	0.010	40	—	100	μA	
Total Static Current I _{cc} (Dynamic and Standby) (P _{in} Factor)	I _{cc}	5.0	—	—	—	11 ± 0.42 mA/Hz ± 1.0	1.0	—	—	μA	
	I _{cc}	10	—	—	—	11 ± 0.85 mA/Hz ± 1.0	1.0	—	—	μA	
I _{cc} (50 μs on and off times, all buffers switching)	I _{cc}	5.0	—	—	—	11 ± 0.42 mA/Hz ± 1.0	1.0	—	—	μA	
	I _{cc}	10	—	—	—	11 ± 0.85 mA/Hz ± 1.0	1.0	—	—	μA	

* Tamb = 50°C for All Devices; 0°C for Non-Volatile Devices
 † Typ = 25°C for All Devices; 0°C for V_{OL} Device

† The values are typical values only and are not guaranteed.

‡ Data related to I_{oh} and I_{ih} are based on the maximum rated
 current as specified in the 5, 10, and 15 mA pins only.

§ The values are typical values only and are not guaranteed.
 ¶ The values are typical values only and are not guaranteed.

‡ The values are typical values only and are not guaranteed.

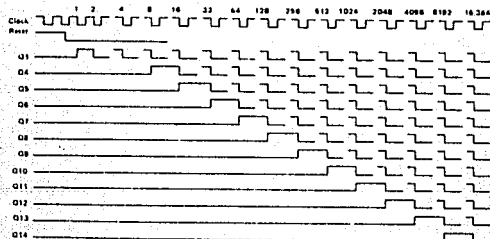
The device contains diodes/capacitors to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, pins outside must be taken to avoid application of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance device. For proper operation, V_{OH} and V_{OL} should be constrained to the range V_{SS} + (V_{OH} or V_{OL}) - V_{DD}.

Unused outputs must be left open.

PN ASSIGNMENT

1	Q12	VDD	18
2	Q11	Q11	15
3	Q14	Q10	14
4	Q8	Q13	13
5	Q5	Q9	12
6	Q7	Q11	11
7	Q4	C	10
8	V _{SS}	Q1	9

FIGURE 3 - TIMING DIAGRAM





National
Semiconductor
Corporation

LM139/239/339, LM139A/239A/339A, LM2901, LM3302

Low Power Low Offset Voltage Quad Comparators

General Description

The LM139 series consists of four independent precision voltage comparators with an offset voltage specification as low as 8 mV (max) for all four comparators. These were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. These comparators also have a unique characteristic in that the input common mode voltage range includes ground, even though operated from a single power supply voltage.

Application areas include limit comparators, analog analog to digital converters, pulse, squarewave and time delay generators, wide range VCO, MOS clock timers, multivibrators and high voltage digital logic gates. The LM139 series was designed to directly interface with TTL and CMOS. When operated from both plus and minus power supplies, they will directly interface with MOS logic—where the low power drain of the LM339 is a distinct advantage over standard comparators.

Advantages

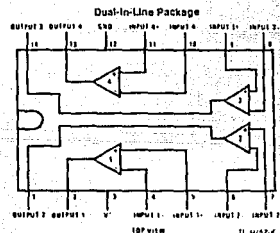
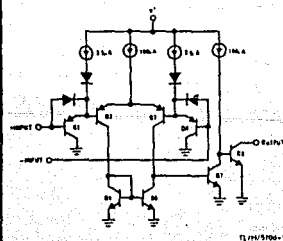
- High precision comparators
- Reduced V_{OS} drift over temperature

- Eliminates need for dual supplies
- Allows sensing near GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

- Wide single supply voltage range of dual supplies
 - LM139 series, LM139A series, LM2901 2 Vcc to 36 Vcc or $\pm 1 \text{ Vcc}$ to $\pm 18 \text{ Vcc}$
 - LM3302 2 Vcc to 28 Vcc or $\pm 1 \text{ Vcc}$ to $\pm 14 \text{ Vcc}$
- Very low supply current drain (0.6 mA) — independent of supply voltage (2 mW/comparator at +5 Vcc)
- Low input biasing current 25 nA
- Low input offset current $\pm 5 \text{ nA}$ and offset voltage $\pm 3 \text{ mV}$
- Input common-mode voltage range includes GND
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Low output saturation voltage 250 mV at 4 mA
- Output voltage compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS logic systems

Schematic and Connection Diagrams



Order Number LM139J, LM139AJ, LM239J, LM239AJ,
LM339J, LM339AJ, LM2901J or LM3302J

See NS Package Number J14A

Order Number LM239AM, LM239M or LM2901M

See NS Package Number M14A

Order Number LM339N, LM339AN,
LM2901N or LM3302J

See NS Package Number N14A

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications (Note 10).

	LM139/LM239/LM339		LM3302		LM139/LM239/LM339		LM3302	
	LM139A/LM239A/LM339A LM2901				LM139/LM239A LM2901		LM3302	
Supply Voltage, V ⁺	36 VDC or ± 18 VDC		28 VDC or ± 14 VDC		Operating Temperature Range LM239/LM339A LM2901		-40°C to +85°C	
Differential Input Voltage (Note 8)	36 VDC		28 VDC		LM239/LM239A LM2901		0°C to +70°C -25°C to +85°C -40°C to +85°C -55°C to +125°C	
Input Voltage	-0.3 V _{DC} to +36 VDC		-0.3 VDC to +28 VDC		LM139/LM139A			
Power Dissipation (Note 1)					Soldering Information			
Molded DIP	1050 mW		1050 mW		Dual-In-Line Package			
Carry DIP	1190 mW				Reflowing (10 seconds)		260°C	
Small Outline Package	760 mW				Small Outline Package		215°C	
Output Short-Circuit to GND, (Note 2)	Continuous		Continuous		Vapor Phase (60 seconds)		215°C	
Input Current (V _{IN} < -0.3 V _{DC}), (Note 3)	50 mA		50 mA		Infrared (15 seconds)		220°C	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C		-65°C to +150°C		See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of determining surface mount devices.			
Load Temperature (Soldering, 10 seconds)	260°C		260°C		ESD rating to be determined.			

Electrical Characteristics (V⁺ = 5 V_{DC}, T_A = 25°C, unless otherwise stated)

Parameter	Conditions	LM139A		LM239A, LM339A		LM139		LM239, LM339		LM2901		LM3302		Units
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Input Offset Voltage (Note 9)		± 1.0 ± 2.0		± 1.0 ± 2.0		± 2.0 ± 5.0		± 2.0 ± 5.0		± 2.0 ± 7.0		± 3 ± 20		mV _{DC}
Input Bias Current	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} with Output in Linear Range, (Note 5), V _{CM} = 0V	25 100		25 250		25 100		25 250		25 250		25 500		nA _{DC}
Input Offset Current	I _{IN(+)} - I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V	± 3.0 ± 2.5		± 5.0 ± 5.0		± 3.0 ± 2.5		± 5.0 ± 5.0		± 5 ± 5.0		± 3 ± 100		nA _{DC}
Input Common-Mode Voltage Range (Note 6)	V ⁺ = 30 V _{DC} , (LM3302, V ⁺ = 28 V _{DC})	0 V ⁺ - 15.0		0 V ⁺ - 15.0		0 V ⁺ - 15.0		0 V ⁺ - 15.0		0 V ⁺ - 15.0		0 V ⁺ - 15.0		V _{DC}
Supply Current	I _{CC} = ∞ on all Comparators, I _{CC} = ∞, V ⁺ = 36V, (LM3302, V ⁺ = 28 V _{DC})	0.8 2.0		0.8 2.0		0.8 2.0		0.8 2.0		0.8 2.0		0.8 2.0		mA _{DC} , mA _{DC}
Voltage Gain	R _L ≥ 15 kΩ, V ⁺ = 15 V _{DC} , V _O = 1 V _{DC} to 11 V _{DC}	50 200		50 200		50 200		50 200		25 100		2 30		V/mV
Large Signal Response Time	V _{IN} = TTL Logic Swing, V _{REF} = 1.4 V _{DC} , V _{OH} = 5 V _{DC} , R _L = 5.1 kΩ, (Note 7)	300		300		300		300		300		300		ns
Response Time	V _{IN} = 5 V _{DC} , R _L = 5.1 kΩ, (Note 7)	1.3		1.3		1.3		1.3		1.3		1.3		µs
Output Sink Current	V _{IN(-)} = 1 V _{DC} , V _{IN(+)} = 0, V _O = 1.5 V _{DC}	60 16		60 16		60 16		60 16		60 16		60 16		mA _{DC}
Saturation Voltage	V _{IN(+)} = 1 V _{DC} , V _{IN(-)} = 0, I _{SENSE} = 4 mA	250 400		250 400		250 400		250 400		210 400		250 500		mV _{DC}
Output Leakage Current	V _{IN(+)} = 1 V _{DC} , V _{IN(-)} = 0, V _O = 5 V _{DC}	0.1		0.1 [†]		0.1		0.1		0.1		0.1		nA _{DC}

Electrical Characteristics (V⁺ = 5.0 V_{DC}, Note 4)

Parameter	Conditions	LM139A		LM239A, LM339A		LM139		LM239, LM339		LM2901		LM3302		Units
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Input Offset Voltage (Note 9)		± 4.0		± 4.0		± 9.0		± 9.0		± 9 ± 15		± 40		mV _{DC}
Input Offset Current	I _{IN(+)} - I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V	± 100		± 150		± 100		± 150		± 50 ± 200		± 300		nA _{DC}
Input Bias Current	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} with Output in Linear Range, V _{CM} = 0V (Note 5)	300		400		300		400		200 500		1000		nA _{DC}
Input Common-Mode Voltage Range (Note 6)	V ⁺ = 30 V _{DC} , (LM3302, V ⁺ = 28 V _{DC})	0 V ⁺ - 20		0 V ⁺ - 20		0 V ⁺ - 20		0 V ⁺ - 20		0 V ⁺ - 20		0 V ⁺ - 20		V _{DC}
Saturation Voltage	V _{IN(+)} = 1 V _{DC} , V _{IN(-)} = 0, I _{SENSE} = 4 mA	700		700		700		700		400 700		700		mV _{DC}
Output Leakage Current	V _{IN(+)} = 1 V _{DC} , V _{IN(-)} = 0, V _O = 30 V _{DC} , (LM3302, V _O = 28 V _{DC})	1.0		1.0		1.0		1.0		1.0		1.0		µA _{DC}
Differential Input Voltage	Keep all V _{IN} > 0 V _{DC} (or V ₊), if used, (Note 8)	36		36		36		36		36		28		V _{DC}



LM124/LM224/LM324, LM124A/LM224A/LM324A, LM2902 Low Power Quad Operational Amplifiers

General Description

The LM124 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124 series can be directly operated off of the standard ± 5 VDC power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional ± 15 VDC power supplies.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated.
- The input bias current is also temperature compensated.

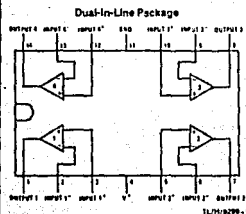
Advantages

- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows direct sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
 - Single supply $3 V_{DC}$ to $32 V_{DC}$
 - or dual supplies $\pm 1.5 V_{DC}$ to $\pm 16 V_{DC}$
- Very low supply current drain (800 μA)—essentially independent of supply voltage (1 mW/op amp at $\pm 5 V_{DC}$)
- Low input biasing current (temperature compensated) 45 nA/DC
- Low input offset voltage and offset current 2 mV/DC, 5 nA/DC
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing $0 V_{DC}$ to $V^+ - 1.5 V_{DC}$

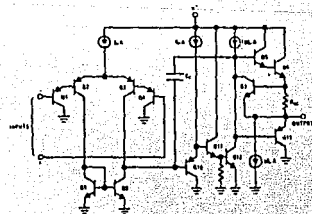
Connection Diagram



Top View

Order Number LM124J, LM124AJ, LM224J, LM224AJ, LM324J, LM324AJ, LM324M, LM324AM, LM2902M, LM324N, LM324AN or LM2902N
See NS Package Number J14A, M14A or N14A

Schematic Diagram (Each Amplifier)



ELH1240W-2

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.
(Note 9)

	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902
Supply Voltage, V ⁺	25 V _{DC} or ± 18 V _{DC}	25 V _{DC} or ± 13 V _{DC}	25 V _{DC} or ± 18 V _{DC}	25 V _{DC} or ± 13 V _{DC}
Differential Input Voltage	± 32 V _{DC}	± 28 V _{DC}	± 32 V _{DC}	± 28 V _{DC}
Input Voltage	- 0.3 V _{DC} to + 32 V _{DC}	0.3 V _{DC} to + 28 V _{DC}	- 0.3 V _{DC} to + 32 V _{DC}	0.3 V _{DC} to + 28 V _{DC}
Power Dissipation (Note 1)				
Molded DIP	1130 mW	1130 mW	1130 mW	1130 mW
Ceramic DIP	1700 mW	1700 mW	1700 mW	1700 mW
Small Outline Package	800 mW	800 mW	800 mW	800 mW
Output Short Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2)	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Input Current (V _{IN} = - 0.3 V _{DC}) (Note 3)	50 nA	50 nA	50 nA	50 nA
Operating Temperature Range	LM224/LM324A: - 55°C to + 125°C LM224/LM24A: - 25°C to + 85°C LM124/LM124A: - 55°C to + 125°C	LM2902: - 65°C to + 150°C	LM124/LM224/LM324: - 65°C to + 150°C	LM2902: - 65°C to + 150°C

Storage Temperature Range
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)
Soldering Information

Lead-In-Limb Pot Logic
Soldering (10 seconds)
Small Outline Package
Vapor Phase (60 seconds)
Infrared (15 seconds)

See AN-418 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.
ESD ratings to be determined.

Electrical Characteristics V⁺ = ± 5.0 V_{DC}, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124A		LM224A		LM324A		LM124/LM224		LM324		LM2902		Units			
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		Min	Typ	Max
Input Offset Voltage (Note 5)		± 1	1.2	± 1	1.3	± 2	1.3	± 2	1.5	± 2	1.7	± 2	1.7	± 2	mV _{DC}		
Input Bias Current (Note 6)	I _{B1} + I _{B2} (V _{IN} = 0 V)	20	50	40	60	45	100	45	100	45	200	45	200	15	250	nA _{DC}	
Input Offset Current	I _{OS} (V _{IN} = 0 V)	1.2	1.0	1.2	1.5	± 5	± 30	± 3	± 30	1.5	1.50	1.5	1.50	± 5	± 50	nA _{DC}	
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	V _{CM} = 0 V to V ₊ (LM2902: V ₊ = 20 V _{DC})	0	V ⁺ - 1.5	0	V ⁺ - 1.5	0	V ⁺ - 1.5	0	V ⁺ - 1.5	0	V ⁺ - 1.5	0	V ⁺ - 1.5	0	V ⁺ - 1.5	V _{DC}	
Supply Current	I _S = 0 V, V _{IN} = 0 V, V _{OUT} = 0 V (LM2902: V ₊ = 20 V _{DC})	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	3	1.5	3	mA _{DC}	
Large Signal Voltage Gain	V ₊ = 15 V _{DC} , R _L = 2 kΩ, V _{IN} = 1 V _{DC} to 11 V _{DC}	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100	V/mV	
Common-Mode Rejection Ratio	DC, V _{CM} = 0 V to V ⁺ - 1.5 V _{DC}	70	85	70	85	65	85	70	85	65	85	65	85	70	85	dB	
Power Supply Rejection Ratio	DC, V _{IN} = 5 V _{DC} to 30 V _{DC} (LM2902: V ₊ = 5 V _{DC} to 20 V _{DC})	65	100	65	100	65	100	65	100	65	100	65	100	65	100	dB	
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 8)	f = 1 kHz to 20 kHz, (input flat-topped)		-120		-120		-120		-120		-120		-120		-120	dB	
Output Currents	Source	V _{IN} = 1 V _{DC} , V _{IN} = 0 V _{DC} , V ₊ = 15 V _{DC} , V ₀ = 2 V _{DC}	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	20	40	mA _{DC}
	Sink	V _{IN} = 1 V _{DC} , V _{IN} = 0 V _{DC} , V ₊ = 15 V _{DC} , V ₀ = 2 V _{DC}	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	mA _{DC}
		V _{IN} = 1 V _{DC} , V _{IN} = 0 V _{DC} , V ₊ = 15 V _{DC} , V ₀ = 200 mV _{DC}	12	50	12	50	12	50	12	50	12	50	12	50	12	50	mA _{DC}
Short Circuit to Ground	(Note 2) V ₊ = 15 V _{DC} , I _A = 25°C	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60	mA _{DC}	
Input Offset Voltage	R _S = 0 Ω		± 4		± 4		± 5		± 7		± 9		± 10		± 10	mV _{DC}	
Input Offset Voltage Drift	R _S = 0 Ω		± 7	± 20	± 7	± 20	± 7	± 30	± 7	± 17	± 17	± 17	± 17	± 17	± 10	μV/°C	
Input Offset Current	I _{B1} + I _{B2} (V _{IN} = 0 V)		± 10	± 200	± 10	± 200	± 10	± 200	± 10	± 200	± 10	± 200	± 10	± 200	nA _{DC}		
Input Offset Current Drift	R _S = 0 Ω		± 10	± 200	± 10	± 200	± 10	± 200	± 10	± 200	± 10	± 200	± 10	± 200	nA _{DC} /°C		
Input Bias Current	I _{B1} or I _{B2}		40	100	40	100	40	200	40	300	40	500	40	500	nA _{DC}		
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	V _{CM} = 0 V to V ₊ - 1.5 V _{DC} (LM2902: V ₊ = 20 V _{DC})	0	V ⁺ - 2	0	V ⁺ - 2	0	V ⁺ - 2	0	V ⁺ - 2	0	V ⁺ - 2	0	V ⁺ - 2	0	V ⁺ - 2	V _{DC}	
Large Signal Voltage Gain	V ₊ = 15 V _{DC} , V _{IN} = 1 V _{DC} , R _L = 2 kΩ	25		25		15		25		15		15		15		V/mV	
	V ₊ = 10 kΩ, (LM2902: V ₊ = 20 V _{DC})	27	28	27	28	27	28	27	28	27	28	27	28	27	28	V _{DC}	
Output Voltage Swing	V ₊ = 15 V _{DC} , R _L = 2 kΩ		5	20		5	20		5	20		5	20		5	100	mV _{DC}
Output Current	Source	V ₀ = 2 V _{DC} , V _{IN} = 1 V _{DC} , V ₊ = 0 V _{DC} , V ₊ = 15 V _{DC}	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	mA _{DC}
	Sink	V ₀ = 2 V _{DC} , V _{IN} = 1 V _{DC} , V ₊ = 0 V _{DC} , V ₊ = 15 V _{DC}	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	mA _{DC}

BIBLIOGRAFIA.

LA PRODUCCION AVICOLA.

BUNDY Y DIGGINS

ED. CECBA

PAATOLOGIA DE LA INCUBACION.

ALBERTO SAN GABRIEL

ED. AEDOS, BARCELONA

MANUAL DE PRODUCCION AVICOLA.

MACK O. NORTH

EL MANUAL MODERNO

INGENIERIA DE CONTROL MODERNA.

KATSUHIKO OGATA

ED. PRENTICE - HALL INTERNACIONAL

MICROPROCESADORES , MICROCOMPUTADORAS Y SISTEMAS DE

DERIVACION PARA FUENTES DE POTENCIA.

TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED.

ED. CECSA.

CONSTRUYA UNA MICROCOMPUTADORA BASADO EN EL Z-80.

STEVE CIARCIA

ED. Mc GRAW - HILL

PRACTICAS DE ELECTRONICA DIGITAL.

FES - CUAUTITLAN, UNAM

DISPOSITIVOS Y CIRCUITOS ELECTRONICOS.

Y.N. BAPAT.

ED. Mc GRAW - HILL LATINOAMERICANA, S.A.

CIRCUITOS INTEGRADOS Y DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES.

G. DEBOO, C. BURROUS

ED. MARCOMBO

ELECTRONICA PRACTICA.

APLICACIONES INDUSTRIALES

THEODORE K. ELPEU

ELECTRONIC CIRCUITS DISCRETE AND INTEGRATED.

DONALD L. SCHILLING, CHARLES BELOVE.

ED. Mc GRAW - HILL.

ELECTRONICA AUTOMATICA E INDUSTRIAL.

SERIE: MUNDO ELECTRONICO.

ED. MARCOMBO.

LINEAR 1 DATA BOOK.

NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION.

2900 SEMICONDUCTOR DRIVE P.O. BOX 58090 SANTA CLARA C.A.

MANUAL PARA INGENIEROS Y TECNICOS EN ELECTRONICA

DIAGRAMAS, CURVAS, TABLAS, Y GRAFICAS.

MILTON KAUFMAN Y ARTHUR H. SEIDMAN

ED. Mc GRAW - HILL.

FOTOCONDUCTORES, TERMISTORES Y VCR.
F. BERGTOLD
ED. GUSTAVO GILI. S.A

TEMPERATURE MEASUREMENT IN ENGINEERING.
H. DEAN BAKER, E.A RYDER
OMEGA, PRESS

HANDBOOK OF TRANSDUCERS FOR ELECTRONIC MEASURING SYSTEM.
HARRY R. NORTON
ED. PRENTICE - HALL

CALEFACCION Y CLIMATIZACION.
JUAN DE CUSA RAMOS
ED. CEAC

FUNDAMENTOS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACION.
EDUARDO HERNANDEZ GORIBAR
ED. LIMUSA

GUIA PRACTICA DE LA VENTILACION.
WOODS.

TERMODINAMICA, TEORIA Y APLICACIONES.
MICHEL A. SAAD
ED. URNO