

106
2 es.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

AUTOMATIZACION DE UN PROCESO DE RECUBRIMIENTO ELECTROLITICO.

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA (AREA ELECTRICA ELECTRONICA)

PRESENTAN:

JORGE MARTINEZ MORALES

JOSE ALBERTO SANTOS ARIAS

DIRECTOR DE TESIS: M.I. JORGE RODRIGUEZ CUEVAS.



CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO, D. F.

1998.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

25875?



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.

Agradecimientos:

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Ingeniería, en especial al M.I. Jorge Rodríguez Cuevas por la dirección y asesoramiento en esta tesis, al Ing. José Rodelmar Ocampo por su apoyo, al Ing. Antonio Salvá Calleja por el asesoramiento brindado y a los "vecinos ingenieros" Ricardo Mota, Ricardo Sánchez, Javier López y Salvador Zamora por el apoyo técnico.

Al M.I. Armando Ortiz Prado y la Ing. Sara Cerrud, quienes supervisaron de cerca el avance del proyecto. A la Dirección General de Apoyo Académico, que a través del Proyecto IN-505 495 otorgó los recursos necesarios para la realización del presente trabajo.

Al Instituto de Física de la UNAM por el apoyo del Dr. Víctor Castaño, Edgar Méndez y René Preza, quienes colaboraron en la realización del proyecto.

Al C.A.F.I. (Karla Vásquez, Adolfo Pérez, David Gutiérrez), a Alicia Pineda, Gabriela Jiménez, Roberto Muñiz, Daniel Kornhauser, Ricardo Oropeza, Ricardo Valera, Angel Labastida y a todos con los que convivimos estos años.

Al Ing. Juan Antonio Velasco Pajón, al Lic. Salvador Rodríguez C. y al equipo de la D.G.B. por la ayuda recibida.

Jorge Martínez Morales.

José Alberto Santos Arias.

Dedicatoria.

Dedico este trabajo a quienes han entregado y compartido su vida conmigo, en especial a mi mamá Ma. de los Angeles, mi papá Jorge, a mis hermanos Adriana, Nohemí y Juan Carlos y mi tía Carmen.

A mis padrinos Consuelo y José Resendiz, a mis abuelitos Virginita y Carlos, Eudosa y Cirilo. A mis tías Amalia, Luisa, Laura, Mago, Paty y mis tíos Raymundo y David por su apoyo.

A todos mis profesores, compañeros y amigos quienes me han acompañado a lo largo de mi vida, de manera particular a José Alberto por el apoyo recibido en la carrera como compañero y amigo.

A mis amigos Martha, Ernesto y al M.O.C. Laudato por ser mi segunda familia.

A todos ustedes y a quienes este corto espacio me impide nombrarlos, gracias.

Y sobre todo doy gracias a Dios por el maravilloso don de la vida y por todo lo que ha hecho por mí a través de cada uno de ustedes.

Jorge Martínez Morales.

Dedicatoria.

Dedico este trabajo a aquellos que me han brindado su apoyo cuando lo he necesitado : a Mamá, a mi abuelita Paula, a mi tía Ma. del Carmen, a mi Papá, a mis padrinos Josefa y Teódulo, a mi amigo de ya muchos años Raúl R. y a Martiux.

Agradezco a todos mis profesores por haberme transmitido parte de sus conocimientos que me han sido de gran utilidad. También a todo aquél que me ha ayudado cuando he necesitado algo, en especial a mi compañero de Tesis Jorge Martínez Morales con quien he realizado un buen equipo durante mi estancia en la Facultad, sin olvidar al gran número de amigos con los que he compartido toda la vida.

*A todos **GRACIAS.***

José Alberto Santos Arias.

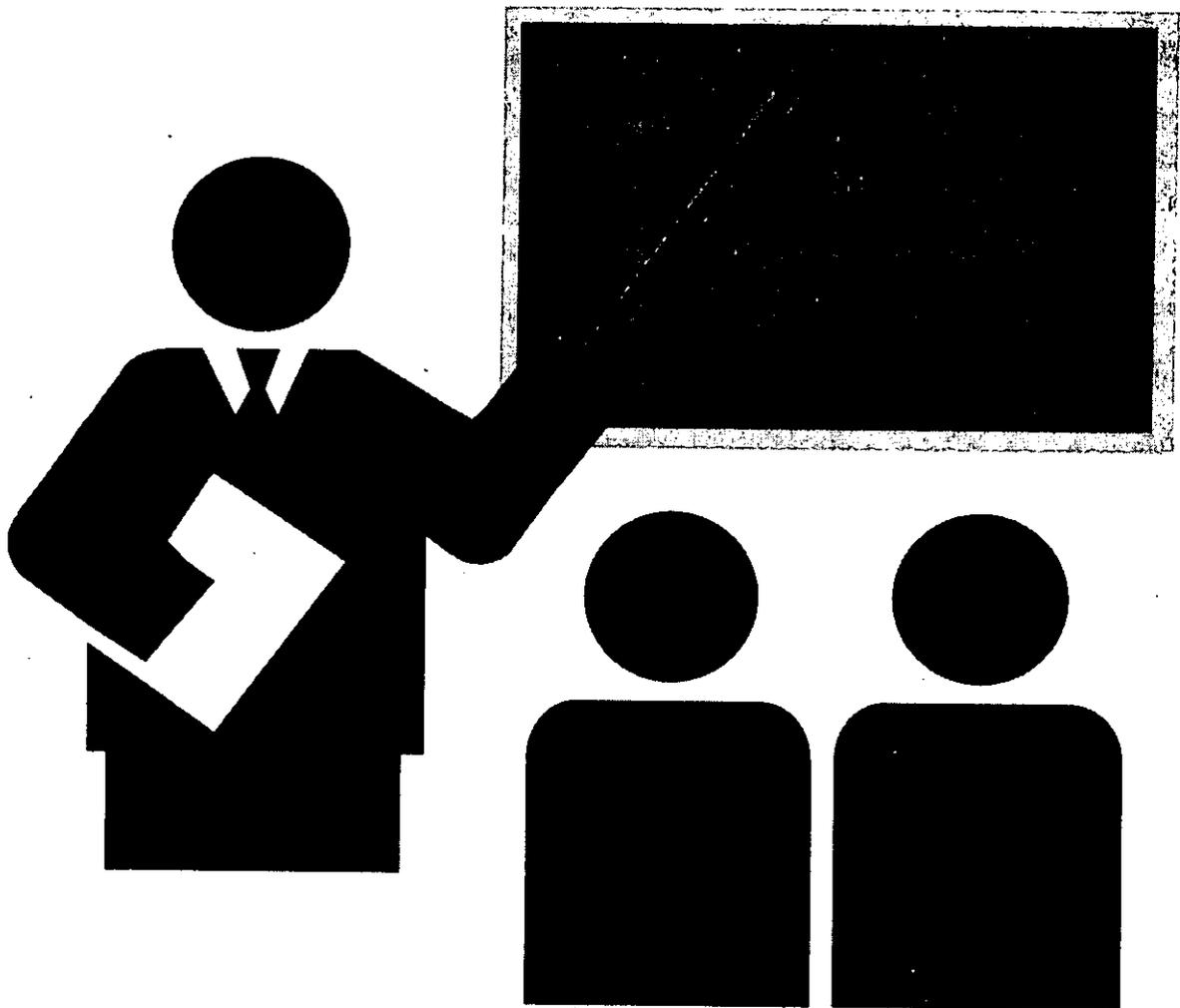
INDICE

I. Introducción.	
I.1 Descripción del proyecto.	1
I.2 Recubrimientos.	1
I.3 Antecedentes del proceso en el Laboratorio de Recubrimientos.	6
I.4 Automatización.	7
II. Planteamiento del problema y consideraciones de diseño.	
II.1 Planteamiento del problema.	9
II.2 Consideraciones de Diseño.	10
II.2.1 Arquitectura.	11
II.2.2 Adquisición de variables.	11
II.2.2.1 Temperatura.	11
II.2.2.2 Corriente.	14
II.2.2.3 Diferencia de potencial.	14
II.2.2.4 Posición.	15
II.2.2.5 pH.	15
II.2.3 Acondicionamiento de las señales.	15
II.2.4 Despliegado de variables y entrada de opciones.	15
II.2.5 Control de variables del proceso.	16
II.2.5.1 Temperatura.	16
II.2.5.2 Corriente.	16
II.2.5.3 Posición.	17
III. Diseño de los acondicionadores de señal.	
III.1 Acondicionadores.	19
III.2 Temperatura.	19
III.3 Corriente eléctrica.	22
III.4 Diferencia de potencial.	29
III.5 Posición.	31

IV. Diseño de la arquitectura del sistema.	
IV.1 Características generales de la familia MC68HC11.	33
IV.2 Microcontrolador MC68HC11A1.	35
IV.3 Distribución de terminales.	36
IV.4 Programación del microcontrolador.	37
V. Programa Monitor en Visual Basic.	
V.1 Introducción.	42
V.2 Características del programa.	42
V.2.1 Diagrama de flujo del programa.	43
V.2.2 Descripción de las formas.	44
VI. Diseño de los actuadores.	
VI.1 Temperatura.	47
VI.2 Corriente.	49
VI.3 Posición.	54
VII. Conclusiones.	62
Anexo I. Diagramas eléctricos del sistema.	
Anexo I.1 Circuito para control de temperatura del electrolito.	I
Anexo I.2 Circuito para la adquisición de temperatura del electrolito.	II
Anexo I.3 Circuito de la arquitectura del microcontrolador.	III
Anexo I.4 Circuito para la adquisición de corriente de depósito. diferencia de potencial entre los electrodos y corriente de depósito.	IV
Anexo I.5 Circuito para control de los motores a pasos.	V
Anexo II. Listado del programa del microcontrolador.	VI
Anexo III. Manual del programa para el control del proceso de recubrimiento electrolítico.	XI
Requerimientos del Programa.	XI
1. Principios del Programa.	XII
1.1. Instrucciones de instalación.	XII
1.2. Para iniciar el programa.	XII
1.3. Para salir del programa	XIII
2. Descripción de Pantallas.	XIII
2.1. Pantalla Principal.	XIII
2.1.1. Descripción de despliegue.	XIII
2.1.2. Descripción del menú.	XIV
2.1.3. Descripción de botones.	XV

2.2. Pantalla de Condiciones Iniciales del Proceso.	XVI
2.2.1. Descripción de despliegue.	XVI
2.2.2. Descripción de botones.	XVII
2.3. Pantalla de Condiciones de Comunicación.	XVIII
2.3.1. Descripción de despliegue	XVIII
2.3.2. Descripción de botones	XIX
3. Instrucciones de Uso	XIX
Bibliografía	XXII

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN



I. INTRODUCCIÓN.

I.1 Descripción del proyecto.

El objetivo de la presente tesis es desarrollar un sistema electrónico que permita el manejo automático del proceso de recubrimiento electrolítico de piezas metálicas con ayuda de una computadora personal, tomando en cuenta que las sustancias empleadas son nocivas para la salud del usuario, con el fin de satisfacer una necesidad del Laboratorio de Conformado de Materiales del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El proceso consiste en el recubrimiento de piezas metálicas mediante electrodeposición. Para este efecto es necesario trasladar las piezas de una sustancia (electrolito), contenida en un recipiente (cuba) a otra, de acuerdo al tipo de recubrimiento deseado. Cuando las piezas se encuentran sumergidas en el electrolito, sirven como electrodos y a través de ellas se hace circular corriente eléctrica durante un determinado tiempo y temperatura adecuada, para así completar el proceso. Ésto se repite o no dependiendo de las necesidades del usuario.

De este modo, nuestro sistema debe ser capaz de controlar la posición (inmersión de las piezas metálicas en la cuba adecuada), tiempo, temperatura y corriente eléctrica, así como de desplegar información de las siguientes variables del proceso: temperatura del electrolito, corriente de depósito, diferencia de potencial entre los electrodos, ubicación de las piezas y tiempo de inmersión de las mismas.

Para realizar nuestro objetivo fue necesario desarrollar circuitos de control, potencia, conversión A / D, comunicación digital, instrumentación y elaborar un programa monitor con las mayores facilidades de uso. Debido a los requerimientos de los solicitantes del proyecto, éste se integró a una planta de manufactura flexible. En resumen se automatizó el proceso de recubrimiento electrolítico y se implementó un sistema integrable a un proceso de manufactura flexible.

I.2 Recubrimientos.

La corrosión de los metales es el origen principal de las fallas en estructuras metálicas, y aunque no es tan espectacular como algunos tipos de rotura, es tal vez más peligrosa debido a que puede pasar desapercibida. La corrosión puede considerarse como una reacción entre el metal y

su medio ambiente, cuyo resultado es la pérdida de metal, tanto al medio como en forma de compuestos de carácter oxidado. La pérdida de la resistencia mecánica o ductibilidad para el componente metálico en su conjunto es generalmente el cambio más importante en sus propiedades. El control de la reacción de corrosión se basa en la práctica de actuar sobre el propio medio ambiente o sobre el metal. El control sobre el medio ambiente significa controlar su composición o reducir la humedad en la atmósfera, cambiar la acidez o alcalinidad a valores más moderados, eliminar las bacterias, reducir la temperatura o añadir sustancias químicas específicas para inhibir la reacción de corrosión. Éstos son los medios más importantes empleados para evitar la corrosión.

Desde el punto de vista de la producción, sería más deseable obtener un metal o una aleación que en su estado bruto de fabricación tuviera una determinada resistencia a la corrosión frente a diversas circunstancias y, por tanto, redujera el coste, que en general está asociado a unas normas redactadas con un criterio muy restringido.

Por el contrario, la utilización de los tratamientos de superficie para mejorar la resistencia a la corrosión es un método específico que, en general, no afecta al conjunto de las propiedades mecánicas, eliminando simplemente aquellas propiedades perjudiciales. Además, los tratamientos de superficies pueden aplicarse al final del proceso de los componentes y son, en todos los aspectos, procedimientos de acabado. De esta forma, el gasto extra que supone fabricar aleaciones relativamente raras puede eliminarse y dirigir la economía de modo más satisfactorio en el sentido deseado; por tanto, un metal o una aleación relativamente baratos puede emplearse para que proporcione las propiedades metálicas al conjunto, mientras que un metal mucho más caro puede emplearse para que mejoren las propiedades superficiales requeridas (recubrimientos).

La elección de un material de recubrimiento depende del aspecto o de la facilidad de su aplicación, así como también de su comportamiento al uso. Si el propósito de la protección es suprimir la formación de un producto de corrosión indeseable, no siendo un acabado metálico, entonces pueden ser adecuados los recubrimientos no metálicos (pinturas, plásticos, lacas, etc.).

Hay muchos ejemplos de metales que forman películas de óxido estables, las cuales, en algunos casos, pueden estabilizarse por tratamientos químicos para que sean protectores. La película de óxido crómico que tiene el cromo y sus aleaciones es generalmente protectora debido a su estabilidad, tenacidad y su capacidad regeneradora después de daños metálicos; en cambio, los óxidos sobre otros metales (aluminio, titanio, zinc, etc.) pueden hacerse más estables por medio de tratamientos químicos o electroquímicos adecuados. Los óxidos de aluminio aumentan de volumen en medios ácidos, pero después del anodizado la película se hace delgada, adherente, dura y apta

para teñirse o colorearse; el óxido de estaño es inestable en medios sulfurosos, convirtiéndose en un sulfuro negro de estaño durante la reacción del empañado, pudiéndose estabilizar en el cromado. En este último caso, la presencia de un elemento aleante en la película de óxido facilita la formación de una capa de óxido binario.

El modo de protección de un sustrato metálico por medio de un recubrimiento metálico depende de la naturaleza del par galvánico que hay entre ellos, es decir, de si el recubrimiento es electropositivo o electronegativo (catódico o anódico) con respecto al metal base.

El éxito de la protección depende del hecho de tener en cuenta que la corrosión es un proceso galvánico en el cual un metal se disuelve anódicamente, mientras que una reacción igual y opuesta se produce en el cátodo, estableciéndose un circuito eléctrico entre las uniones metálicas y el electrolito. Para que la protección sea eficaz, hay que romper este proceso electroquímico por donde resulte posible. La sustitución de un ánodo por otro que sea menos crítico cambia simplemente la marcha de la corrosión, y en el caso de un recubrimiento metálico sólo lo hace temporalmente, puesto que si el recubrimiento se disolviera por completo, el sustrato quedaría de nuevo expuesto al medio agresivo. Con frecuencia es más conveniente eliminar la reacción catódica o modificar el electrolito haciéndolo selectivo o más resistente al paso de la corriente.

Los recubrimientos metálicos se obtienen por una variedad de técnicas, muchas de las cuales se aplican también a los no metales, como los plásticos o los polímeros. Por el tonelaje de productos acabados, la electrodeposición está muy por encima de las demás, aunque técnicas más sofisticadas se han desarrollado para unas finalidades específicas, en donde el coste o la calidad tienen más importancia que la propia cantidad.

Existen varios métodos de obtención de recubrimientos metálicos:

Depósito químico o sin corriente

Mediante un proceso de reducción acuosa en el cual el metal se deposita a partir de una solución generalmente bajo una acción catalítica. Es un proceso relativamente lento.

Inmersión en caliente

El recubrimiento se aplica al componente o metal base en forma de líquido y puede hacerse de manera continua o por un proceso discontinuo. El control del espesor es deficiente y no se pueden obtener satisfactoriamente depósitos delgados.

Metalización por proyección (rociado)

Es utilizada en estructuras de acero y como su nombre lo indica se realiza rociando un metal con bajo punto de fusión (zinc, aluminio) mediante una pistola de metalizar.

Chapeado

Se realiza por medio de la presión de unos rodillos sobre una superficie plana dependiendo de la formación de un buen enlace entre los dos metales. Las dos variables principales son la temperatura y la presión de los rodillos.

Electroforesis

Se emplea un tratamiento térmico en el cual el recubrimiento se sinteriza (conglomera) y se adhiere a la superficie del metal base; el recubrimiento se realiza con un metal en forma de polvo u óxido.

Depósito en vacío

Esta técnica puede usarse en frío y no depende de las propiedades metálicas del metal base, puede emplearse también para recubrir no metales. El metal se evapora en vacío y se deposita sobre el sustrato en la cámara de vacío. Los metales más convenientes para realizar el recubrimiento son los de punto de ebullición bajo (el aluminio es de los más usados).

Cementación

El elemento aleante difunde a través de la superficie del metal base a partir de una fase gaseosa, sólida / gas ó líquida. Se realiza para endurecer superficialmente las piezas. El tratamiento de difusión debe ser de varios días, y la temperatura alta para que el tiempo reduzca a un valor óptimo.

Electrodeposición

Todos los metales se pueden electrodepositar a partir de un electrolito, pero para la mayor parte de casos prácticos no hay que considerar los baños no acuosos (disolventes orgánicos o sales fundidas), excluyendo así los metales como el aluminio o el titanio como electrodepósitos. El procedimiento puede ser continuo o discontinuo, y en algunos casos se pueden conseguir a velocidades muy altas. Los metales más populares para recubrimientos son el estaño, el níquel y el cromo; siendo el cromado tal vez el más conocido.

En este trabajo de tesis se abordará sólo el recubrimiento por electrodeposición en metales debido a que es el método usado en el proceso que nos ocupa.

Las dos leyes que controlan cuantitativamente las reacciones de electrodo en la electrólisis son las Leyes de Faraday:

a) La cantidad de elemento que se libera en un electrodo por electrólisis es proporcional a la corriente (i) y al tiempo (t); la constante de proporcionalidad es el equivalente electroquímico Z :

$$W = Z \cdot i \cdot t$$

El producto $i \cdot t$ expresa el número de coulombs (C) que han pasado.

b) Para una misma cantidad de electricidad, el peso de un elemento liberado es proporcional a su equivalente químico. El Faraday ($F=96,493 \text{ C}$) descarga un equivalente / gramo de un elemento de peso atómico A :

$$W = \frac{i \cdot t \cdot A}{nF}$$

Durante el proceso de electrólisis, todos los iones en solución transportan corriente, y la contribución de un ion individual depende de su concentración y movilidad. En el cátodo se forma un exceso de cationes y los de potencial de descarga más alto se reducen antes; análogamente, se oxidan en el ánodo aquellos iones cuyo potencial de descarga sea más negativo. En cada electrodo puede ocurrir más de un proceso de descarga, y haber una sola reacción redox.

Cuando ocurren en un electrodo diversos procesos de descarga, el rendimiento de la descarga, con respecto a uno cualquiera de ellos, es proporcional a la corriente total que pasa por el electrodo usada en el proceso en cuestión. El rendimiento de la corriente catódica (R.C.C.) para un depósito metálico es entonces:

$$\text{R.C.C.} = \frac{n \cdot 100}{N}$$

donde:

n - es el número de Coulombs que depositan metal.

N - es el número total de Coulombs que pasan.

Inversamente, el rendimiento de la corriente anódica se refiere al proceso de disolución metálica en un ánodo soluble.

Las dos consecuencias importantes de las Leyes de Faraday pueden estar relacionadas con el ahorro de consumo eléctrico durante la electrodeposición.

Cuando aplicamos una diferencia de potencial a un electrodo metálico que está en un electrolito, la corriente no tiene porque fluir inmediatamente; ésto nos indica la velocidad de la reacción del electrodo. A un cierto potencial crítico (potencial de descarga), la corriente empieza a incrementarse y comienza la reacción del electrodo.

I.3 Antecedentes del proceso en el Laboratorio de Recubrimientos.

En este laboratorio las prácticas se elaboraban en una mesa de trabajo, la cual soportaba diez recipientes de metal recubiertos con un material anticorrosivo. En cinco de ellas se contenían los electrolitos necesarios para el recubrimiento y en las otras cinco agua necesaria para el enjuague de las piezas metálicas a recubrir. El electrolito debía ser calentado a una temperatura entre 60 y 80 ° C mediante resistencias eléctricas que eran conectadas o desconectadas para mantener la temperatura dentro de estos valores; la temperatura se leía con termómetros de mercurio y el usuario se encontraba en contacto con los vapores que emanaban de las cubas. La corriente eléctrica se suministraba mediante una fuente de corriente directa variable y el valor deseado se fijaba al comenzar la electrólisis. El valor de la misma era medida mediante un galvanómetro integrado a la misma fuente. El traslado de las piezas metálicas se realizaba de forma manual y requería la deshabilitación del flujo de corriente y se hacía con la ayuda de un cronómetro. Por otro lado, los electrolitos eran revisados periódicamente para conocer si el valor de pH era el adecuado para llevar a cabo las prácticas.

I.4 Automatización.

El hombre, sabiéndose limitado en sus capacidades, ha creado artificios que le faciliten la elaboración de sus tareas. Creó habitaciones y vestimenta para protegerse, sus limitaciones de transporte las compensó con la invención de los medios de transporte, necesitaba oír y hablar a distancia, es decir, comunicarse, desarrollando así los medios de comunicación.

La fuerza propia del hombre a veces resulta insuficiente para hacer algunas actividades, de ahí la necesidad de inventar máquinas que permiten ampliar en gran medida su poder de acción sobre la naturaleza.

Podemos decir que el progreso ha sido un largo proceso de humanización del mundo inanimado. Esta capacidad no se detiene: en años recientes ha concebido dispositivos capaces de extender nuestro sistema nervioso y nuestra capacidad de calcular.

Y es precisamente al conjunto de técnicas que permiten tal acción a los que se les da el nombre de *automatización*. Sólo fue posible la automatización como resultado de las generalizaciones permitidas por el avance de la electrónica y la robótica, especialmente en el dominio de las computadoras.

Desde el comienzo de la revolución industrial hasta hace algunas décadas el mando y el control de todos los procesos y máquinas los realizaban operadores humanos, donde las máquinas suministran la fuerza y el hombre el pensamiento. En algunos casos estas acciones se llevan a cabo de manera repetitiva, indiferentes a las alteraciones del medio. Es el operador quien, a partir de informaciones sensoriales, de datos, de aparatos de medición y de informaciones varias, realiza modificaciones a las máquinas para preservar, lo mejor que sea posible, el correcto funcionamiento del sistema para llegar a un fin determinado.

La automatización es un concepto y un conjunto de técnicas por medio de las cuales se construyen sistemas activos capaces de actuar con una eficacia óptima con el uso de informaciones recibidas del medio sobre el que actúan. Con base en ellas el sistema calcula la acción correctiva más apropiada. Un sistema de automatización debe comportarse lo más parecido a un operador humano que, utilizando información sensorial, piensa y ejecuta la acción más adecuada.

Las analogías entre un sistema de automatización y un operador humano pueden expresarse de la siguiente forma:

Sistema de automatización	Operador humano
Adquisición y comunicación	Impresión sensorial
Computación	Raciocinio
Control	Acción

En la conjugación de estas tres funciones se tiene un sistema de comportamiento global capaz de duplicar la acción humana.

En la automatización hay autoadaptación a condiciones diferentes de modo que las acciones del sistema conduzcan a resultados óptimos.

El órgano central de un sistema de automatización es, en la mayoría de los casos, una computadora o un dispositivo equivalente (controlador electrónico). La computadora, debido a la posibilidad que tiene de manejar un gran número de datos en un tiempo muy corto, y debido a que puede procesar operaciones lógicas y matemáticas, permite extender el dominio de la automatización a un sinnúmero de actividades humanas.

La automatización permite también proteger al hombre en algunas actividades que son nocivas para su salud, ya que mediante el uso de sistemas mecánicos - electrónicos se realizan las tareas necesarias con la seguridad necesaria.

En resumen, la automatización implica el desarrollo de sistemas capaces de emular los músculos, sistema sensorial y capacidad de pensamiento del hombre.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO



II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

II.1 Planteamiento del problema

Como se comentó en la introducción, el proceso presenta cinco parámetros a considerar: corriente eléctrica suministrada a los electrodos dentro del electrolito, diferencia de potencial entre los electrodos, temperatura y pH del electrolito y posición de las piezas a recubrir, la cual considera también el tiempo en que éstas estarán dentro del electrolito correspondiente.

El proceso consiste en una combinación electrólisis - enjuague para lograr el recubrimiento. Dependiendo del recubrimiento deseado se hará la secuencia adecuada de distribución de cubas. Hay que hacer notar que una secuencia es el paso de las piezas a través de las combinaciones electrólisis - enjuague (máximo 5) que se tienen en la mesa de trabajo, necesarias para completar el terminado de las piezas metálicas. Se tiene entonces que en cuanto a la determinación de la posición se deben trasladar las piezas por pares de cubas electrólisis - enjuague, ya que así lo requiere el proceso.

En total existen diez posiciones terminales distintas en las cuales pueden encontrarse las piezas, y están definidas en los tres ejes x , y , z , sin embargo, en dos de ellos (los ejes y , z) sólo se tienen dos posiciones posibles, a diferencia del eje x , en el cual existen hasta cinco posiciones terminales diferentes (ver figura 2.1).

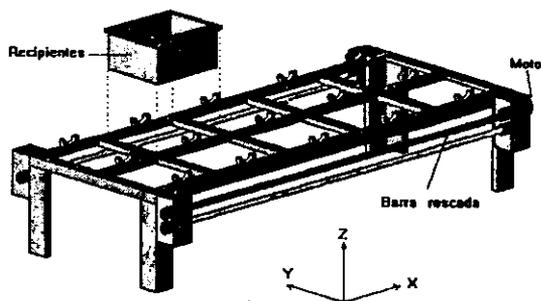


Figura 2.1 Mesa de trabajo.

La posición de las piezas a recubrir (número de cuba) y el tiempo que deben permanecer en ella están determinados por el usuario mediante el programa almacenado en la computadora.

La temperatura del electrolito debe encontrarse en la mayoría de los casos entre 60 y

80°C. El calor es aplicado mediante calentadores eléctricos los cuales deben ser controlados para mantener la temperatura adecuada. De una manera similar, la corriente eléctrica debe ser controlada para el tipo de recubrimiento deseado. Para el suministro de dicha corriente se cuenta con una fuente variable capaz de proporcionar hasta 50 amperes de corriente directa. El pH debe ser medido antes de cada sesión de trabajo con el fin de asegurar que el electrolito se encuentre en buenas condiciones.

II.2 Consideraciones de Diseño

Una vez conocidas las necesidades se planteó un diagrama en bloques que pudiera cumplir con nuestros requerimientos.

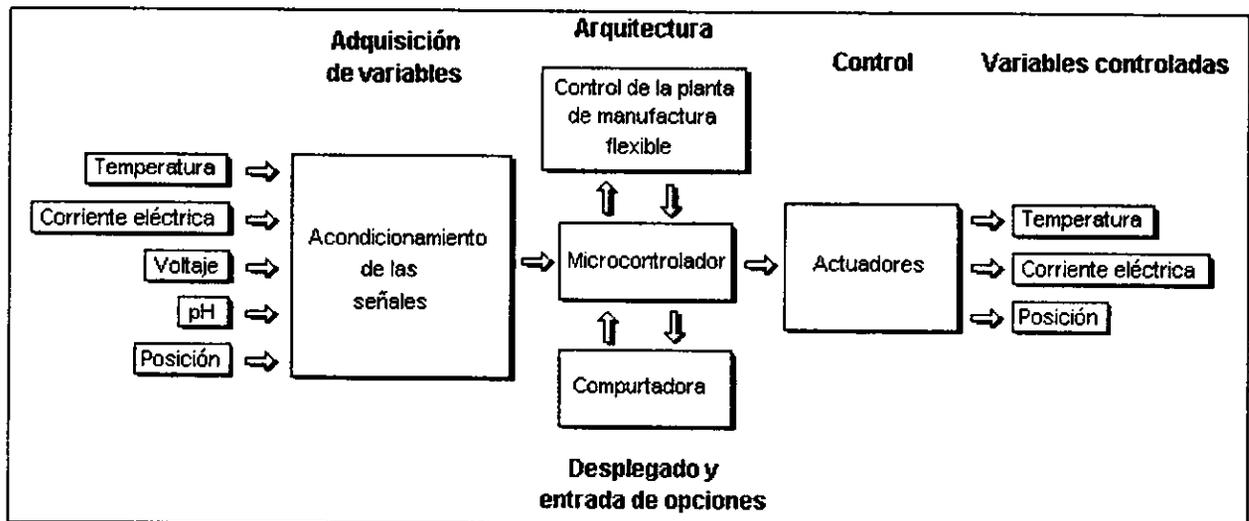


Figura 2.2 Diagrama en bloques del sistema.

Para el diseño del sistema es necesario dividirlo en varias partes, de acuerdo a la función de cada una de ellas:

- Arquitectura del microcontrolador
- Adquisición de variables
- Acondicionamiento de las señales
- Desplegado de variables y entrada de opciones
- Control de variables del proceso

A continuación se presentan las consideraciones pertinentes para el diseño de cada una de estas partes, dejando para un capítulo posterior los detalles de la implementación de los mismos.

II.2.1 Arquitectura

La función principal de la arquitectura es integrar a todas las partes del sistema, es decir, debe permitir la comunicación entre tres etapas: 1) la adquisición de variables, 2) el despliegado de variables y entrada de opciones y 3) control de variables del proceso.

Las características que ofrecen hoy en día los microcontroladores hacen de éstos una opción viable para ser la base de sistemas electrónicos. Existe una gran diversidad, a tal grado que los fabricantes desarrollan "familias" de microcontroladores que poseen características similares entre cada uno de ellos. Algunas marcas ofrecen familias de propósito general. Entre las características principales que presentan tenemos las siguientes: memoria RAM, ROM y EEPROM, temporizadores, puertos de entrada y salida, comunicación serial, conversión analógica / digital, entre otras.

Estas características hacen de un microcontrolador una opción económica y eficiente para un sistema de esta naturaleza sobre una implementación discreta, es decir, la construcción de cada uno de los elementos necesarios para crear una interfaz con las mismas características. La familia M68HC11 de Motorola ofrece una variedad de microcontroladores con características diversas para distintos tipos de aplicaciones de propósito general. La gran mayoría presenta características similares, tales como memorias EPROM, EEPROM, RAM, temporizadores, puerto serie y convertidor analógico - digital. La diferencia entre unos y otros se hace patente en la cantidad de memoria que poseen, ya sea volátil o no, además de otras características. La elección del microcontrolador adecuado depende entonces de cuánta memoria ocupe el programa ensamblador del mismo.

II.2.2 Adquisición de variables

Como se mencionó anteriormente, se requiere medir cinco valores de temperatura, uno de corriente, uno de voltaje y uno de posición. A continuación se presentan las consideraciones pertinentes para cada caso.

II.2.2.1 Temperatura

Para medir la temperatura se requiere un transductor capaz de medir en un intervalo de 20° C a 100° C que es dentro del cual se desarrolla el proceso. El transductor debe ser de un material resistente al ácido y, para nuestros fines, con una respuesta eléctrica para facilitar su

acondicionamiento. La temperatura no varía a gran velocidad debido a que se utiliza un calentador tipo resistor de 25 W, por lo que el tiempo de respuesta del transductor requerido no necesita ser rápido.

Dados estos requerimientos se tienen tres opciones: termopares, termistores y el transductor de temperatura LM35. Al analizar las características de estos tres transductores se observó lo siguiente:

1) Termopares : Se basan en el efecto descubierto por Seebeck en 1821 de la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distinta temperatura. Esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión, y el efecto Thomson que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperaturas. Cuando el termopar está instalado a una distancia larga del instrumento, no se conecta directamente al mismo, si no por medio de un cable de extensión. Los cables de extensión son conductores con propiedades eléctricas similares a las del termopar hasta ciertos límites de temperatura. Las conexiones entre el termopar y el instrumento de medición deben ser perfectas, sin empalmes, utilizando el hilo correcto y el conjunto de la instalación debe evitar el paso próximo por fuentes de calor. Si estas recomendaciones no se cumplen aparecen tensiones térmicas de corriente continua que dan lugar a un desplazamiento en la calibración del instrumento.

El encapsulado de estos dispositivos puede ser de acero inoxidable con lo que se garantiza resistencia a la corrosión. La relación temperatura contra corriente es bastante lineal pero el intervalo de operación recomendado es en altas temperaturas. Además su costo es demasiado elevado.

2) Termistor : Los termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, por lo que presentan variaciones rápidas y extremadamente grandes para los cambios relativamente pequeños en la temperatura. Los termistores se fabrican con óxidos de níquel, manganeso, hierro, cobalto, cobre, magnesio, titanio y otros metales, y están encapsulados.

La relación entre la resistencia del termistor y la temperatura viene dada por la expresión

$$R_T = R_0 e^{\beta \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right]}$$

donde:

R_T = resistencia en ohms a la temperatura absoluta T_0 .

R_0 = resistencia en ohms a la temperatura absoluta de referencia T_0 .

β = constante dentro de un intervalo moderado de temperaturas ($2500 \text{ }^\circ\text{K} < \beta < 4000 \text{ }^\circ\text{K}$).

T = temperatura de interés en $^\circ\text{K}$.

T_0 = temperatura de referencia en $^\circ\text{K}$.

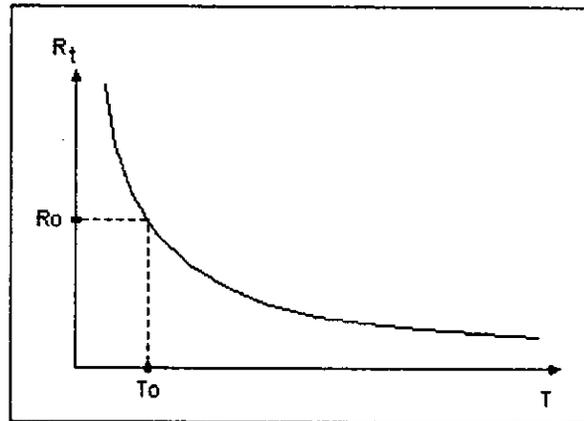


Figura 2.3. Comportamiento de R_t con respecto a T .

Como podemos apreciar en la expresión anterior y en la figura 2.3, la relación temperatura contra resistencia no es lineal, lo que podría solucionarse seleccionando adecuadamente el termistor y/o acondicionando adecuadamente la señal, los intervalos de operación de este transductor están adecuados al intervalo de operación del proceso y su precio es bastante accesible. Algunos encapsulados son resistentes al ácido. Uno de los problemas que tiene es la falta de disponibilidad con valores estándar.

3) **LM35** .: la relación temperatura contra voltaje es lineal, el intervalo de operación recomendado por el fabricante es de 1°C a 150°C (en una de sus configuraciones), su encapsulado es resistente al tipo de ácidos utilizados en el proceso, requiere de un material aislante para su conexión (para este caso, plastilina epóxica por su resistencia al ácido). Su costo es bajo y es fácil de conseguir. El tiempo de respuesta es adecuado a las necesidades del proceso.

La respuesta en voltaje que proporciona el transductor se convertirá en señal digital utilizando un convertidor A/D para su manipulación posterior.

II.2.2.2 Corriente.

Por ser corriente directa, la medición se realiza mediante un resistor en serie con la fuente. Debido a que el valor de la corriente es proporcional a la diferencia de potencial entre las terminales del resistor, podemos adecuar el valor de dicha diferencia para que podamos medirla en el convertidor A/D del microcontrolador. La siguiente figura muestra el arreglo considerado.

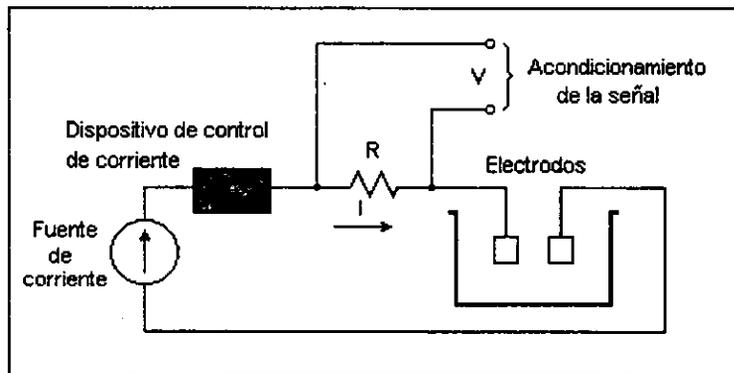


Figura 2.4. Diagrama de medición de corriente.

II.2.2.3 Diferencia de potencial.

La diferencia de potencial se medirá directamente en las terminales de los electrodos. Para ello se requiere acondicionar su valor para poder ser adquirido por el microcontrolador (ver figura 2.4).

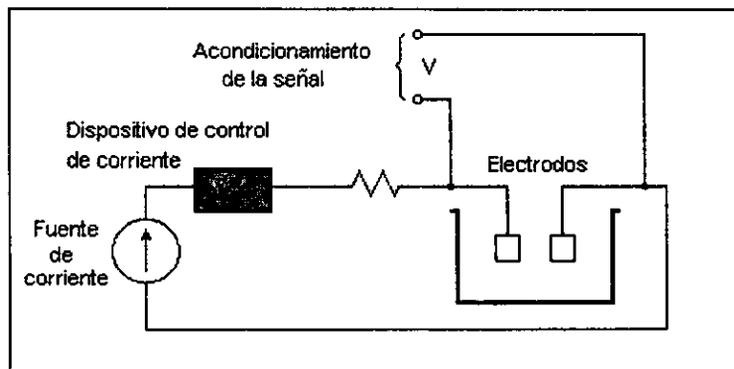


Figura 2.5. Diagrama de medición de la diferencia de potencial.

II.2.2.4 Posición

La posición de las piezas a recubrir está relacionada directamente con la posición de los dispositivos mecánicos de desplazamiento. Dependiendo del sistema mecánico a emplear se eligen los sensores de posición adecuados, entre los que podemos considerar los de contacto, los fotoeléctricos o los inductivos.

Los sensores de contacto consisten en que el dispositivo de desplazamiento cierran un interruptor cuando llegue a una posición determinada. Los sensores fotoeléctricos basan su funcionamiento en la interrupción de un haz de luz infrarroja que genera un fotodiodo y que es percibido por un fototransistor; así, cuando el dispositivo mecánico interrumpe este haz se logra sentir la posición. Por último, los sensores inductivos logran detectar la proximidad de un objeto cuando éste se acerca cambiando el valor de la inductancia.

Cualquiera de estos sensores es útil para los propósitos que aquí se requieren, ya que todos pueden proporcionar una señal eléctrica con las debidas adecuaciones, pero es necesario establecer primero la manera en que las piezas metálicas se transportarán para determinar el sensor adecuado a las condiciones de uso.

II.2.2.5 Ph

La medición del pH de las sustancias a emplear no requiere de un monitoreo tan continuo como lo es para los otros parámetros, sin embargo, su importancia no deja de ser inferior a las demás. Esta medición puede realizarse con un dispositivo portátil y no estar integrado completamente al resto del sistema.

II.2.3 Acondicionamiento de las señales

El acondicionamiento de las señales adquiridas se lleva a cabo mediante circuitos de control de ganancia de voltaje, con el fin de ajustar su valor al requerido para su procesamiento posterior en el microcontrolador. En algunos casos el acondicionamiento consiste además en el aislamiento entre los circuitos de adquisición y procesamiento.

II.2.4 Despliegado de variables y entrada de opciones

Esta parte del sistema consta de una computadora personal, para la cual es necesario un programa que se encargue de almacenar la información requerida para los procesos, así como desplegar la información recibida por la interfaz (arquitectura). Cabe hacer notar que todo el

proceso será controlado a partir de la información almacenada en la computadora, y que la información referente al proceso (temperatura, corriente eléctrica y diferencia de potencial entre los electrodos de las cubas en operación) podrá ser observado en la misma.

II.2.5 Control de variables del proceso

II.2.5.1 Temperatura

Debido al tipo de proceso y la forma de llevarse a cabo se utilizó el mismo principio que cuando se hacía el proceso en forma manual, es decir, encendiendo y apagando los calentadores.

Este tipo de control es denominado Encendido - Apagado (ON-OFF) que consiste en mantener la fuente de energía encendida cuando la variable a controlar se encuentra por debajo del valor deseado, y apagada cuando se encuentre por arriba del valor fijado. Considerando las necesidades del proceso y los límites en los valores de temperatura permisibles este tipo de control es adecuado, ya que permite mantener la temperatura del electrolito dentro del intervalo requerido.

Para llevar a cabo el control es necesario medir el valor de temperatura para compararlo con una referencia establecida por el usuario con el fin de encender o apagar el calentador. Se parte de una temperatura ambiente del electrolito, como los valores a los cuales se debe trabajar son superiores, los calentadores iniciarán encendidos y dependiendo de la temperatura del electrolito, éstos serán apagados.

Es necesario tomar en cuenta que si sólo se comparara con la temperatura de referencia, se correría el riesgo de que el calentador estuviera prendiéndose y apagándose de manera muy rápida, provocando una oscilación. Para evitarlo se requiere de una histéresis, la cual se da intrínsecamente por el volumen y la capacidad de absorción y disipación de calor de la sustancia, pero puede establecerse al momento de comparar el valor de temperatura de salida con el de referencia, sumando o restando a ésta un valor. Este valor permite tener un mejor control de la histéresis ya que no depende de las características de la sustancia.

II.2.5.2 Corriente

El valor de corriente promedio empleado en este proceso es 15 [A] a partir de una fuente variable que proporciona un máximo de 50 [A]. Para establecer el valor adecuado de manera automática se debe disminuir un valor de corriente superior al deseado, esto puede realizarse disipando potencia mediante algún elemento o a través del troceo de la corriente.

El método de disipación de potencia presenta el problema de desperdicio de energía en forma de calor por lo que no es muy eficiente, además de que el dispositivo disipador se desgastaría rápidamente. Por otra parte, el troceo de la corriente es lo más empleado en los sistemas de potencia debido a que es más eficiente porque se procura no disipar potencia empleando los elementos en un estado de encendido o apagado. Con base en estas razones se eligió este último método para el control de la corriente.

II.2.5.3 Posición

El proceso requiere del desplazamiento de piezas en los tres ejes x , y , z , además de la sujeción de las mismas para su transporte. Se pensó en dos posibilidades: utilizar cilindros neumáticos o motores.

Los cilindros neumáticos ofrecen una gran velocidad de desplazamiento y potencia; en sí mismos son unidades mecánicas de movimiento que requieren de una mínima infraestructura de instalación, su control es sencillo y son fáciles de conseguir en el mercado. Sin embargo, su costo es muy elevado, requiere de una fuente de aire (compresor) y de electroválvulas con un costo aún superior al de los mismo cilindros.

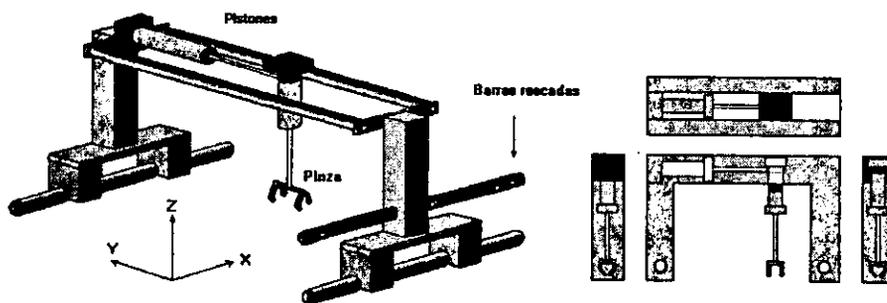


Figura 2.6. Movimiento empleando pistones.

La utilización de motores presenta una gran variedad de tipos a elegir, entre los cuales están los motores a pasos, de corriente directa, de corriente alterna y servomotores. Los motores necesitan para su montaje una adecuada instalación mecánica (correderas, cremalleras y/o tornillos sin fin). El empleo de los motores de corriente directa, de corriente alterna y servomotores requiere de sensores para cada una de las posiciones donde se precise tener las piezas. Los motores a pasos, en cambio, ofrecen la posibilidad de conocer su posición a partir de un punto de referencia contando el número de pasos que éste ha realizado. La potencia requerida para desplazar las piezas puede ser proporcionada por un motor de este tipo. Su costo es menor que el

de los cilindros neumáticos y no requiere de otros componentes para su funcionamiento, y el control no es más complicado con respecto al de los cilindros neumáticos.

Analizando estas dos opciones se decidió emplear motores a pasos, ya que si bien los cilindros neumáticos son también una solución adecuada, no se contó con los recursos necesarios para su implementación; en cambio, los motores cubren las necesidades de movimiento y su costo es menor.

La siguiente figura muestra el sistema mecánico empleando motores a pasos.

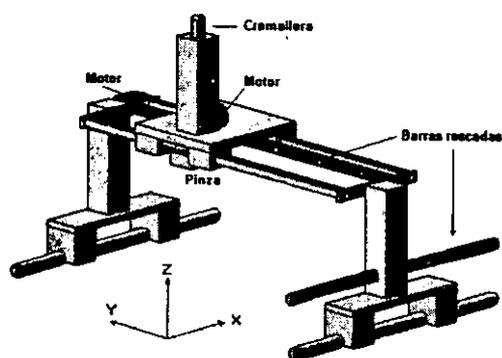
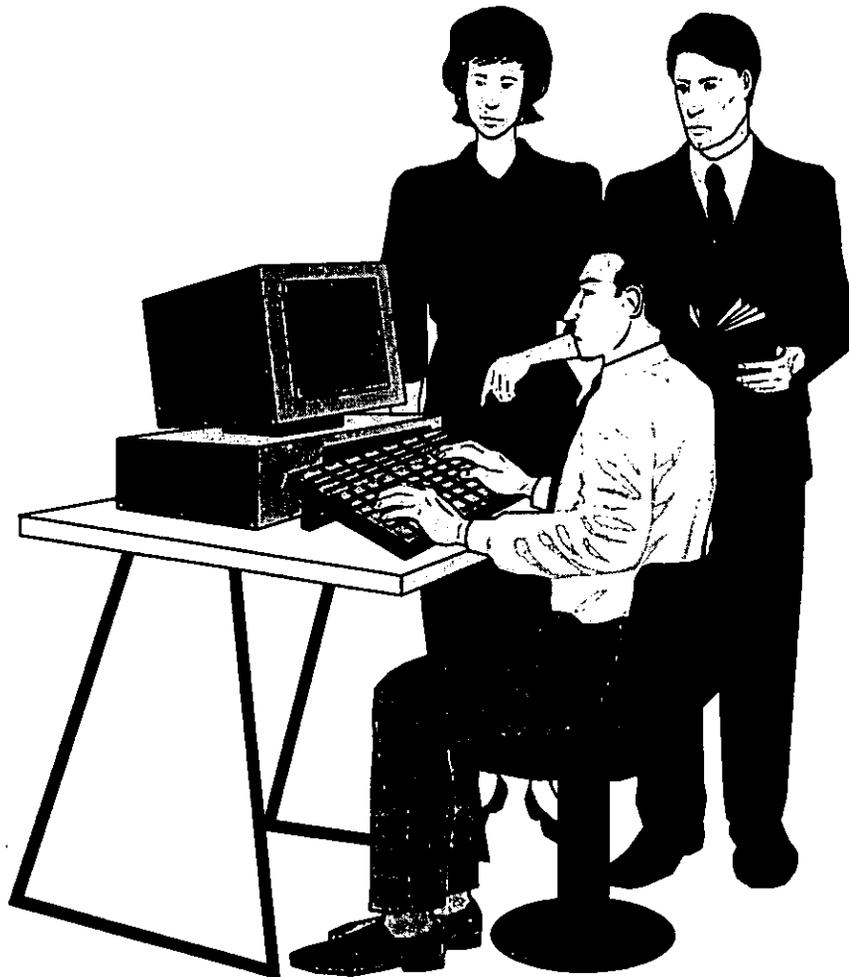


Figura 2.7. Movimiento empleando motores a pasos.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LOS ACONDICIONADORES DE SEÑAL



III. DISEÑO DE LOS ACONDICIONADORES DE SEÑAL

III.1 Acondicionadores

Una de las actividades más importantes en la ingeniería es la evaluación, medición y análisis de las variables que se presentan en un determinado fenómeno. En la ingeniería electrónica, el uso de instrumentos para medir y analizar diferentes variables eléctricas es una práctica común. Se miden diferencias de potencial, se analizan formas de onda y a través de estos resultados se evalúan circuitos o sistemas. Pero en muchas ocasiones las variables a medir no son de naturaleza eléctrica. Es necesario entonces transformarlas mediante transductores o sensores para que puedan ser acondicionadas con los circuitos electrónicos adecuados, de tal manera que el procesamiento de la información pueda llevarse a cabo. En este capítulo se explica la manera cómo las variables de interés en el proceso fueron acondicionadas para los fines que se persiguen.

III.2 Temperatura

La adquisición de la temperatura de las cinco cubas donde se realiza el proceso se lleva a cabo mediante el transductor de temperatura LM35, de National Semiconductor. Cada transductor se encuentra cubierto con material epóxico (plastilina epóxica) para no ser afectado por la sustancia en la que se encuentra inmerso. La configuración de operación se muestra en la figura 3.1.

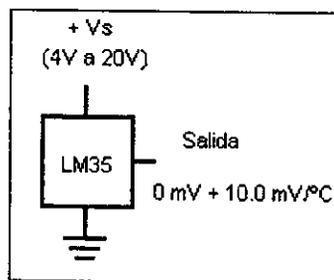


Figura 3.1. Configuración de operación del transductor LM35.

Como podemos observar, la configuración es muy simple, pues sólo requiere de polarizar al transductor para que este trabaje. El intervalo de operación es de 2 °C a 150 °C, con una salida de 10 mV / °C. Dado que el convertidor analógico - digital del microcontrolador requiere de un valor entre 0 V y 5 V, se necesita una etapa de ganancia que garantice el aprovechamiento de la escala

completa del convertidor. El intervalo de operación que nos interesa es de 60°C a 80°C, por lo que podemos tener una lectura adecuada si a escala completa se miden 100 °C. Para ello es necesario calcular la ganancia adecuada:

Voltajes que entrega el transductor LM35 de 2 °C a 100 °C:

a 2 °C:

$$V_{salLM35} = (2^{\circ}\text{C})\left(10\frac{\text{mV}}{^{\circ}\text{C}}\right) = 20\text{mV}$$

a 100 °C:

$$V_{salLM35} = (100^{\circ}\text{C})\left(10\frac{\text{mV}}{^{\circ}\text{C}}\right) = 1\text{V}$$

Para obtener 5 V a 100 °C:

$$(1\text{V}) \cdot \text{Ganancia} = 5\text{V}$$

$$\text{Ganancia} = \frac{5\text{V}}{1\text{V}} = 5$$

Por lo tanto, la etapa de ganancia debe amplificar 5 veces la señal que proviene del transductor. Esta ganancia la obtenemos de un circuito basado en un amplificador operacional en la configuración no inversora como se muestra a continuación.

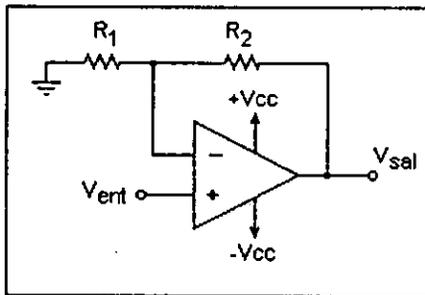


Figura 3.2. Etapa de ganancia basada en un amplificador operacional en configuración no inversora.

El voltaje de salida de esta configuración está dada por la siguiente expresión:

$$V_{sal} = V_{ent} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

El voltaje de entrada V_{ent} es la señal que proviene del transductor de temperatura, mientras que el voltaje de salida es llevado a una terminal de entrada del convertidor analógico - digital del microcontrolador (ver figura 3.3).

III.3 Corriente eléctrica

La medición de esta variable presenta la necesidad de diseñar un acondicionamiento con aislamiento, ya que la magnitud de ésta es del orden de 20 A a 50 A . Las técnicas de medición de corriente eléctrica se basan en el principio de inducción magnética que produce el flujo de corriente eléctrica (en el caso de corriente alterna). Otras más aprovechan efectos indirectos de la corriente, por ejemplo, la diferencia de potencial que presenta algún elemento en sus terminales debida a la corriente que pasa a través de él. Es este principio el que se emplea en nuestro sistema.

Este método consiste en colocar un resistor en serie con la fuente de corriente y medir directamente la diferencia de potencial entre las terminales del resistor. Debe considerarse la potencia disipada por el resistor, ya que si ésta es demasiado grande causará pérdida de energía, por lo que el valor de la resistencia debe ser lo más pequeño posible. Existen resistores de potencia con valor mínimo de 0.1Ω . Si el valor máximo de corriente que se podría presentar es de 50 A , la diferencia de potencial entre las terminales del resistor sería igual a :

$$V_{res} = I R_{EQ}$$
$$V_{res} = (0.1\Omega)(50A) = 5V$$

Por lo tanto, la potencia que se disipa en el resistor está dada por:

$$P_{res} = V_{res} \cdot I_{res}$$
$$P_{res} = (5V)(50A) = 250W$$

Tomando en cuenta que el proceso opera generalmente a una corriente de 20 A y a un voltaje no mayor a 20 V ($P = (20V)(20A) = 400 W$), la potencia que disipa el resistor de medición por sí sola es mayor al 50 % de la que consume el proceso.

Para disminuir este efecto se necesita emplear un resistor de menor valor. Como en el mercado no se encuentran resistores con valores por debajo de 0.1Ω , se pueden colocar varios resistores de 0.1Ω en paralelo. Para conservar la proporcionalidad entre el valor de la corriente y el valor del voltaje obtenido en la resistencia, son diez los resistores que forman el arreglo en paralelo.

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{0.1\Omega} + \frac{1}{0.1\Omega} + \frac{1}{0.1\Omega}} = 0.01\Omega$$

De este modo la diferencia de potencial máximo entre las terminales del arreglo es:

$$V_{Req} = (0.01\Omega)(50A) = 0.5V$$

y la potencia:

$$P_{Req} = (0.5V)(50A) = 25W$$

con lo que la potencia disipada es menor del 7 % de la que consume el proceso, y las resistencias tienen un valor y tamaño pequeños en comparación de las que hubieran ocupado en primera instancia.

La sensibilidad de la diferencia de potencial entre las terminales de la resistencia equivalente R_{eq} con respecto a cada uno de los resistores de este arreglo y la corriente proporcionada por la fuente esta dada por la siguiente expresión :

$$S_{Ri}^{V_{res}} = \frac{dV_{res}}{dRi} \cdot \frac{Ri}{V_{res}}$$

para : $i = 1, 2, 3, \dots, 10$

donde:

$$R_{EQ} = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4} + \frac{1}{R5} + \frac{1}{R6} + \frac{1}{R7} + \frac{1}{R8} + \frac{1}{R9} + \frac{1}{R10}}$$

para R1 :

$$\frac{dV_{res}}{dR1} = \frac{I \cdot R2^2 R3^2 R4^2 R5^2 R6^2 R7^2 R8^2 R9^2 R10^2}{\left(R1 \left(R2 \left(R3 \left(R4 \left(R5 \left(R6 \left(R7 \left(R8 \left(R9 + R10 \right) + A \right) + B \right) + C \right) + D \right) + E \right) + F \right) + G \right) + H \right)^2}$$

$$S_{R1}^{V_{res}} = \frac{R2^2 R3^2 R4^2 R5^2 R6^2 R7^2 R8^2 R9^2 R10^2}{R1 \left(R2 \left(R3 \left(R4 \left(R5 \left(R6 \left(R7 \left(R8 \left(R9 + R10 \right) + A \right) + B \right) + C \right) + D \right) + E \right) + F \right) + G \right) + H}$$

siendo :

$$A = (R9) R10, B = (R8) A, C = (R7) B, D = (R6) C, E = (R5) D, F = (R4) E, G = (R3) F, H = (R2) G$$

como el valor nominal de $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = R_8 = R_9 = R_{10} = 0.1\Omega$

$$S_{R1}^{V_{res}} = S_{R2}^{V_{res}} = S_{R3}^{V_{res}} = S_{R4}^{V_{res}} = S_{R5}^{V_{res}} = S_{R6}^{V_{res}} = S_{R7}^{V_{res}} = S_{R8}^{V_{res}} = S_{R9}^{V_{res}} = S_{R10}^{V_{res}} = 0.1$$

y con respecto a la variación en la fuente de corriente :

$$S_I^{V_{res}} = \frac{dV_{res}}{dI} \cdot \frac{I}{V_{res}}$$

$$\frac{dV_{res}}{dI} = R_{eq}$$

$$S_I^{V_{res}} = 1$$

La variabilidad de V_{res} esta dada por :

$$\Delta V_{res} = [S_{R1}^{V_{res}} V_{R1} + S_{R2}^{V_{res}} V_{R2} + S_{R3}^{V_{res}} V_{R3} + \dots + S_{R10}^{V_{res}} V_{R10} + S_I^{V_{res}} V_I] V_{res}$$

Todo los resistores son del mismo tipo y tienen una variabilidad del 10%, la corriente proporcionada por la fuente tiene también una variación del 10%, por lo que la máxima variación en la diferencia de potencial entre las terminales del resistor para un voltaje de 0.5 V (producido por una corriente de 50 A) está dado por :

$$\Delta V_{res} = [10(S_{R1}^{V_{res}})(V_{R1}) + (S_I^{V_{res}})(V_I)] V_{res}$$

ya que:

$$V_{R1} = V_{R2} = V_{R3} = V_{R4} = V_{R5} = V_{R6} = V_{R7} = V_{R8} = V_{R9} = V_{R10} = 0.1$$

$$\Delta V_{res} = [10(0.1)(0.1) + (1)(0.1)](0.5)$$

$$\Delta V_{res} = [0.1 + 0.1]0.5$$

$$\Delta V_{res} = 0.1 \text{ V}$$

por lo tanto

$$V_{res} = 0.5 \pm 0.1 \text{ V}$$

Una vez definida la forma como se va a sensar la corriente es necesario acondicionarla. Hay que considerar que se están empleando potencias altas que no son recomendables para ser manejadas directamente por los circuitos de adquisición y procesamiento. Es necesario aislar la señal proveniente de la etapa de potencia de la de procesamiento.

Ya que se están empleando valores de corriente y voltaje de C.D. se debe diseñar una interfaz capaz de aislar y además permitir que las variaciones de la corriente puedan ser sensadas. El siguiente diagrama en bloques presenta el circuito propuesto para estos fines.



Figura 3.4. Diagrama en bloques del circuito de medición de corriente y voltaje.

La idea principal es la siguiente. La diferencia de potencial tomada de las terminales de la resistencia es acondicionado para que pueda ser llevado a un oscilador controlado por voltaje (VCO). El VCO entrega una señal cuadrada con frecuencia dependiente del voltaje de entrada. Esta señal es llevada a un optoacoplador para realizar el aislamiento, donde la frecuencia de la señal será la misma en el fotodiodo y en el fototransistor, el cual trabaja en corte y saturación con salida por el colector. Es aquí donde se realiza el aislamiento eléctrico. La señal obtenida en el colector del fototransistor es tomada por un convertidor de frecuencia a voltaje para que pueda ser ajustada en ganancia nuevamente y leída por el convertidor analógico digital del microcontrolador.

La ganancia de la primera etapa de amplificación depende de los requerimientos del VCO. Se empleó el C.I. LM566 como circuito oscilador, ya que requiere sólo de un resistor y un capacitor como componentes externos para ajustar el valor de la frecuencia, junto con el valor del voltaje de polarización y el voltaje en la terminal número 5. La frecuencia del oscilador está dada por:

$$f_0 = \frac{24 \cdot (V^+ - V_5)}{R_0 \cdot C_0 \cdot V^+}$$

donde:

V^+ es el voltaje de polarización

V_5 es el voltaje entre las terminales 5 y 1 del VCO

y debe cumplirse:

$$2 \text{ k}\Omega < R_0 < 20 \text{ k}\Omega$$

$$0.75 \cdot V^+ < V_5 < V^+$$

Si graficamos esta expresión encontramos que la respuesta de la frecuencia contra voltaje tiene el siguiente comportamiento:

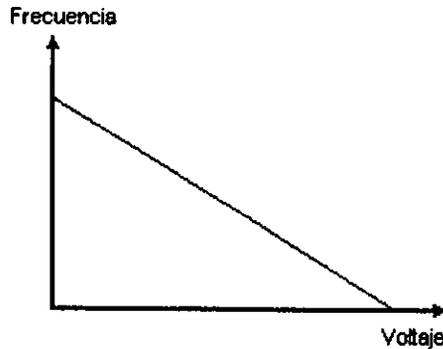


Figura 3.5. Comportamiento de la frecuencia de salida en relación al voltaje de entrada en el VCO LM 566.

Como se observa en la figura 3.5, la frecuencia es inversamente proporcional al voltaje V_5 . Por lo tanto, si queremos que la respuesta sea proporcional, debemos invertir el voltaje del transductor antes de que sea llevado al VCO. Además se debe cumplir que $0.75 \cdot V^* < V_5 < V^*$, de acuerdo a las hojas de especificaciones elaboradas por el fabricante del C.I.. Para un voltaje de polarización $V^* = 12 \text{ V}$ tenemos:

$$9 \text{ V} < V_5 < 12 \text{ V}$$

Debido a esta condición, el voltaje que proviene de la etapa de amplificación anterior al VCO depende de los requerimientos de éste. Por lo tanto, para 0 A necesitamos que el voltaje de entrada al VCO sea cercano a 12 V para así obtener el valor de frecuencia más bajo, mientras que para 50 A el voltaje no debe ser menor a 9 V para lograr una frecuencia mayor.

Los valores extremos que se obtienen en las terminales del resistor en serie son: de 0 V para 0 A y 0.5 V para 50 A. La ganancia de la primera etapa debe ser tal que permita que los voltajes extremos, después de ser amplificados, sean mayores a 9 V y menores a 12 V. Para eso se empleó el siguiente arreglo:

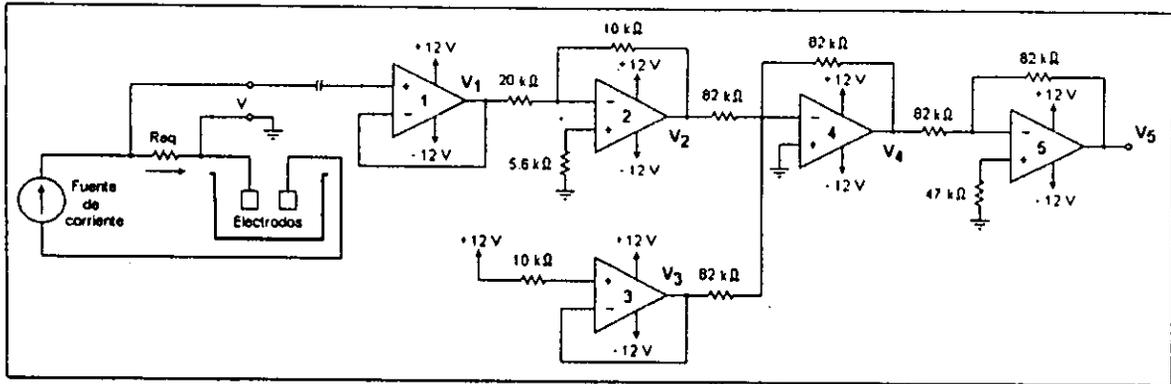


Figura 3.6. Etapa de amplificación previa al VCO en el acondicionamiento de corriente.

El amplificador operacional (1) se encuentra en configuración de seguidor de voltaje. Esto es recomendable para acoplar voltajes. El amplificador (2) presenta una configuración inversora con la siguiente ganancia:

$$G_{amp1} = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{10k\Omega}{20k\Omega} = -0.5$$

Con esta ganancia se logra que las variaciones de 0 V a 5 V sean de 0 V a 2.5 V para quedar dentro del intervalo especificado por la condición del VCO de $9\text{ V} < V_5 < 12\text{ V}$, donde la variación de V_5 debe ser menor o igual a 3 V. Pero el voltaje V_2 es negativo y no se encuentra entre 9 V y 12 V. Para este efecto es necesario agregar un "desajuste" para que las variaciones de V_2 puedan encontrarse entre los valores especificados. Esto se logra con un arreglo formado por un amplificador operacional en configuración de sumador inversor (amplificador 4 de la figura 3.6), además de un seguidor de voltaje para proporcionar el desajuste en C.D. (amplificador 3 de la figura 3.6). El amplificador 4 presenta la siguiente ganancia:

$$G_{amp4} = -\frac{R_2}{R_1}(V_2 + V_3) = -\frac{82k\Omega}{82k\Omega}(V_2 + V_3) = -(V_2 + V_3)$$

El voltaje V_3 es positivo con valor de 12 V, mientras que V_2 proveniente del amplificador 2 es negativo. Por lo tanto, para los valores extremos de corriente tenemos los siguientes valores:

$$V_{amp4} |_{I=0A} = -(0 + 12) = -12\text{ V}$$

$$V_{amp4} |_{I=50A} = -(-2.5 + 12) = -9.5\text{ V}$$

Por último se emplea un amplificador en configuración de inversor, logrando así que la variación de voltaje a la salida del amplificador (5) V_5 , se encuentre dentro de los límites necesarios: 12V y 9.5V.

La frecuencia de oscilación del VCO se eligió alrededor de 1 kHz debido a que el optoacoplador distorsiona la señal a frecuencias mayores a 10 kHz. Para conseguirla se hizo $R_o=10\text{ k}\Omega$ y $C_o=50\text{ nF}$.

Si $V_5 = 9.5\text{ V}$ tenemos que la frecuencia de oscilación del VCO es:

$$f_o = \frac{24 \cdot (12\text{V} - 9.5\text{V})}{(10\text{k}\Omega) \cdot (50\text{nF}) \cdot (12\text{V})} \approx 10\text{kHz}$$

mientras que para $V_5 = 12\text{ V}$:

$$f_o = \frac{24 \cdot (12\text{V} - 12\text{V})}{(10\text{k}\Omega) \cdot (50\text{nF}) \cdot (12\text{V})} = 0.0\text{kHz}$$

Como se puede observar, ahora se tiene una relación proporcional entre la corriente y el voltaje a la salida del VCO. El resto del circuito de acondicionamiento se presenta a continuación:

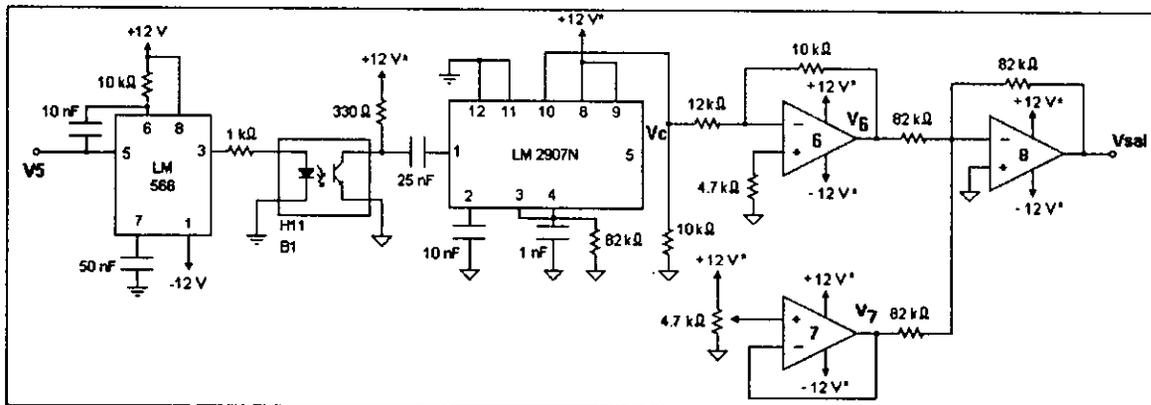


Figura 3.7. Etapa final del circuito de acondicionamiento de medición de corriente.

La señal de salida del VCO es llevada al ánodo del fotodiodo del optoacoplador. Como la señal es un tren de pulsos y debido a la polarización, el fototransistor trabaja en corte y saturación, generando en el colector una señal cuadrada con la misma frecuencia que la entregada por el VCO.

Esta señal aislada y con frecuencia proporcional a la corriente sensada, es aplicada a un convertidor de frecuencia a voltaje. Este circuito integrado tiene una respuesta en voltaje en función de la expresión

$$V_{sal} = f_{ent} \cdot V_{cc} \cdot R_1 \cdot C_1$$

Si todos los parámetros son constantes a excepción de la frecuencia, entonces el voltaje a la salida del LM2907 sería:

$$V_{sal} = f_{ent} \cdot (12V) \cdot (82k\Omega) \cdot (10nF) = 9.84 \times 10^{-3} f_{ent}$$

Para las frecuencias límite proporcionadas por el optoacoplador los voltajes a la salida del convertidor serían:

$$V_{sal} \Big|_{f_{ent}=1 \text{ kHz}} = 9.84 \times 10^{-3} f_{ent} = 9.84 \times 10^{-3} \cdot 1 \text{ kHz} = 9.84 \text{ V}$$

$$V_{sal} \Big|_{f_{ent}=0 \text{ Hz}} = 9.84 \times 10^{-3} f_{ent} = 9.84 \times 10^{-3} \cdot 0 \text{ kHz} = 0 \text{ V}$$

Ahora sólo resta ajustar la ganancia de estos valores. Para este efecto se emplearon tres amplificadores operacionales más. El amplificador 6, que se encuentra en configuración inversora, disminuye el valor del voltaje,

$$V_6 = -\frac{10 \text{ k}\Omega}{12 \text{ k}\Omega} \cdot V_c = -0.833 \cdot V_c$$

mientras que el amplificador 8, como sumador inversor, proporciona un ajuste junto con el amplificador 7, que es un seguidor de voltaje. De este modo, los valores obtenidos para V_{sal} van de los 0 a los 5 V.

III.4 Diferencia de potencial.

El acondicionamiento de este parámetro implica, al igual que en el de corriente, un aislamiento eléctrico para evitar problemas entre las etapas de control y de potencia. La diferencia de potencial a medir se presenta en las terminales de los electrodos, donde su valor alcanza hasta 20 V dependiendo de las características del proceso que se lleve a cabo. El principio de acondicionamiento presenta la misma estructura básica que para el acondicionamiento de la corriente: una primera etapa de amplificación que entrega un valor en voltaje a un oscilador

controlado por voltaje (VCO), la señal de él obtenida se aísla mediante un optoacoplador para ser recibida por un convertidor de frecuencia a voltaje, y por último esta señal es ajustada en amplitud para ser introducida al convertidor A/D del microcontrolador (ver figura 3.4).

A diferencia del acondicionamiento de corriente, la diferencia de potencial se mide directamente de los electrodos, y la referencia para dicha adquisición queda defasada 180° con respecto a la de corriente (ver figura 3.8).

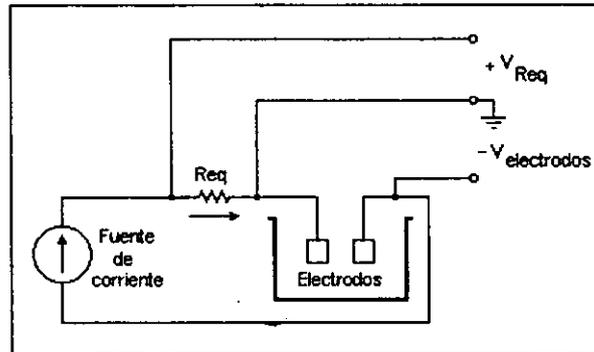


Figura 3.8. Adquisición de corriente y diferencia de potencial.

El voltaje de polarización de los amplificadores operacionales en el circuito de acondicionamiento es de ± 12 V (ver figura 3.9). Por otra parte, el voltaje máximo posible a medir es de 20 V. Esto implica que este voltaje se debe reducirse antes de ser aplicado a la etapa de amplificación. Para ello se utilizó un divisor de voltaje para reducir a la mitad este valor. Con el fin de acoplar voltajes, se implementó un amplificador operacional como seguidor de voltaje y con ayuda de dos amplificadores inversores el voltaje nuevamente es disminuido a un 25 %, esto es, el valor máximo para V_3 es de - 2.5 V. Con este valor sumado algebraicamente a los 12 V proporcionados por el amplificador 4 se obtiene una variación de 9 V $< V_6 < 12$ V, necesario para el funcionamiento del VCO (ver figura 3.9).

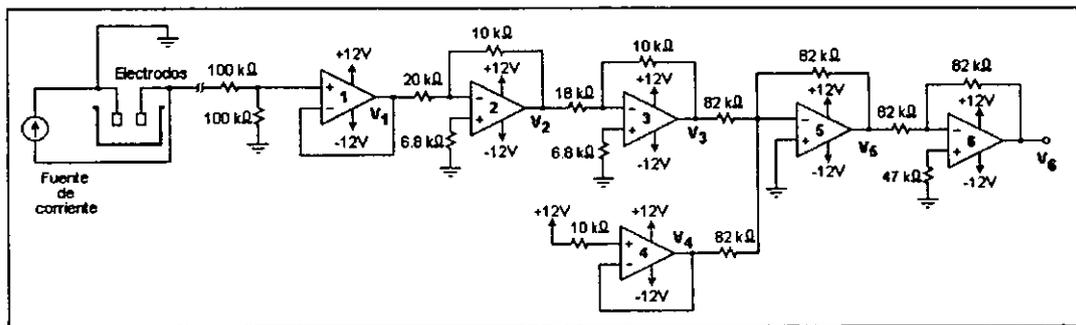


Figura 3.9. Etapa de amplificación previa al VCO en el acondicionamiento de voltaje.

El aislamiento óptico, la conversión de frecuencia a voltaje y la etapa final de amplificación para ajustar el voltaje de salida de 0 a 5 V, se realiza de la misma manera como en el caso del acondicionamiento de la corriente; por lo cual nos podemos referir al diagrama y a las expresiones relacionadas con la figura 3.7.

III.5 Posición

La detección de la posición de las piezas se realiza a través de transductores fotoeléctricos, los cuales se componen de un led infrarrojo y un fototransistor. Hay fuentes y sensores infrarrojos en miniatura que se pueden adquirir como componentes separados o empacados juntos en cajas. La fuente es un diodo emisor de luz (LED: light emitting diode) de arseniuro de galio de alta frecuencia, que proporciona una salida máxima aproximada de 1 mW a una longitud de onda de 940 nm. El detector es un fototransistor de silicio npn, o un fotodarlington. En un optointerruptor reflejante, la fuente y el detector están colocados uno al lado del otro y utilizan energía reflejada para detectar un cuerpo hasta una distancia aproximada de 5 mm del interruptor. En el optointerruptor ranurado, la fuente ilumina al sensor directamente y la ranura permite que un objeto, como un disco giratorio, interrumpa el haz. Es normal que se incluya un filtro en el estuche para reducir la interferencia de luz ajena y también para proteger al dispositivo de polvo y suciedad. Estos interruptores se utilizan mucho para conmutación en presencia de un borde, conteo de acontecimientos y aplicaciones de codificación óptica.

Una extensión de esta idea lleva al detector de proximidad, en el cual un LED integrado de arseniuro de galio genera un haz modulado de luz infrarroja que se refleja en una superficie externa y lo detecta un sensor también integrado al equipo. Ajustando la sensibilidad del dispositivo puede hacerse que dé una señal binaria cuando los objetos apropiados estén a una distancia definida (generalmente unos cuantos centímetros).

Para el proyecto se emplearon diodos y fototransistores separados. La configuración empleada es la siguiente:

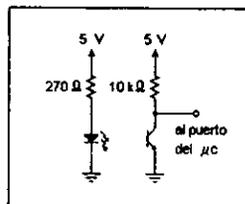


Figura 3.10. Configuración de los transductores fotoeléctricos.

Estos transductores están colocados de tal forma que los cuatro movimientos que se realizan en la mesa de trabajo sean detectados (los tres movimientos x, y, z y las pinzas que sujetan las piezas). Para detectar que alguno de los movimientos se ha realizado de manera completa, la parte mecánica que se encuentra en movimiento obstruye físicamente la transmisión de la luz infrarroja del diodo hacia el fototransistor. Cuando esto ocurre, la base del fototransistor no es excitada, por lo cual queda en corte y el voltaje en el colector del mismo es aproximadamente 5 V (1 lógico). Si por el contrario, el haz infrarrojo no se obstaculiza, el fototransistor se satura y se obtiene un voltaje de saturación en el colector, es decir, una diferencia de potencial a la salida cercano a 0 V (0 lógico) (ver figura 3.11).

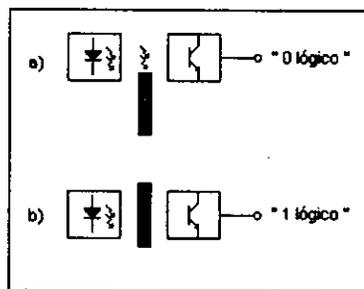
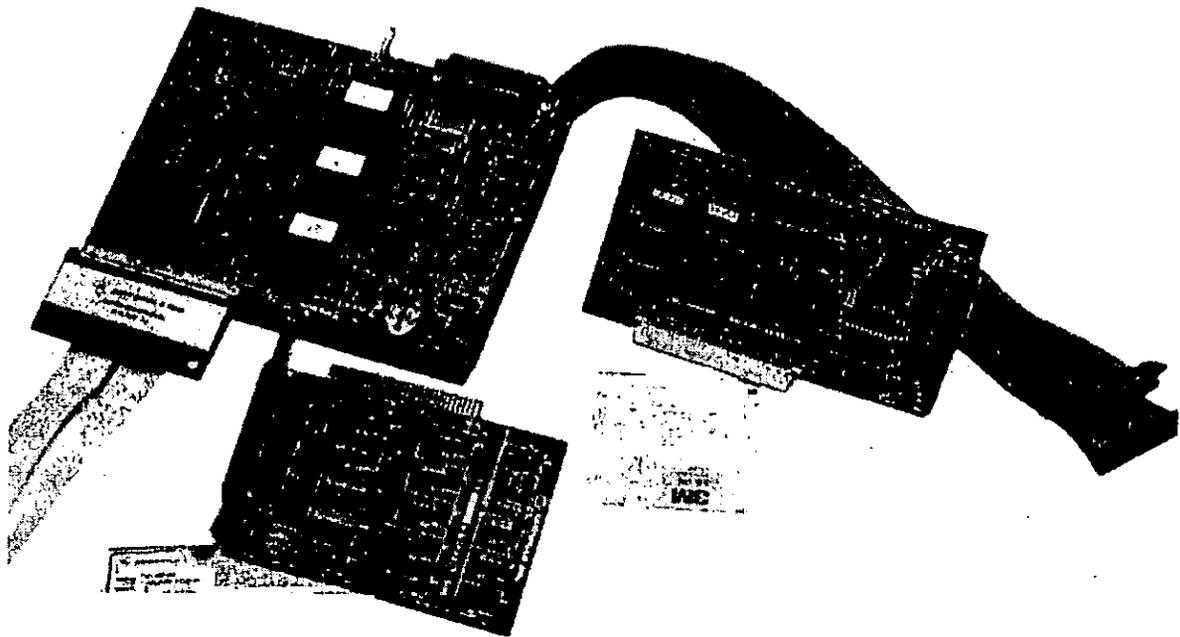


Figura 3.11. Transductores de posición.

Los valores presentados en el colector de cada uno de los transductores, es registrado por el microcontrolador a través de las terminales PA0, PA1, PA2 y PA7.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA



IV. DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA.

IV. 1 Características generales de la familia MC68HC11.

La familia MC68HC11 es una serie de microcontroladores con una unidad de procesamiento central flexible, se constituye de: Unidad de Procesamiento Central (CPU), Timer, Memoria, Convertidor Analógico Digital, Entrada/Salida Digital y Funciones Especiales, Comunicación Serie y Coprocesador Matemático.

Unidad de Procesamiento Central.

Está diseñada para un bajo consumo de potencia, se compone de

- Dos acumuladores de 8 bits ó uno de 16
- Dos registros de 16 bits
- Instrucciones de manejo de bits
- Seis modos de direccionamiento (Inmediato, Extendido, Directo, Indexado, Inherente y Relativo)
- Modos de Espera y Paro para ahorro de potencia
- Configuración de función de terminales desde memoria (Entrada, Salida y/o funciones especiales)
- Multiplicador de 8 x 8 bits
- Divisor de 16 x16 bits

Temporizador (Timer)

Se basa en un contador de 16 bits, puede programarse y escalarse mediante programación. Sus características incluyen Captura de Entrada, Comparación de Salida, Interrupción en Tiempo Real, Acumulador de Pulsos y funciones de "Watchdog".

Memoria

Esta familia está provista de distintas combinaciones de los diversos tipos de memoria.

- ROM. Hay microcontroladores que tienen desde 0 a 32K bytes. Este tipo de memoria la programa el fabricante.

- RAM. Se tiene disponibilidad desde 192 bytes hasta los 1.25K en algunas versiones.
- EPROM en tamaño desde 4K hasta 32K bytes para distintas versiones.
- EEPROM disponible de 0 a 2K bytes para algunos de los microcontroladores.

Convertidor Analógico Digital

Puede operar de forma multi-conversión ó multi-canal lo cual permite una conversión sencilla o continua en uno o varios canales. La familia MC68HC11 tiene ocho canales de entrada al convertidor A/D, la mayoría de las versiones proporcionan 8 bits de resolución aunque hay otros hasta con 10 bits.

Entrada / Salida Digital y Funciones Especiales

Esta familia proporciona una serie de terminales multifuncionales, muchos de las terminales de entrada-salida pueden configurarse con programación mediante un Registro de Dirección de Datos (DDR).

Algunos miembros de esta familia incluyen 4 canales de Acceso Directo a Memoria (DMA) y una Unidad de Manejo de Memoria (MMU). La DMA proporciona una rápida transferencia de datos entre memorias y registros, incluye también un mapeo de memoria externa en el modo expandido.

Comunicación Serie

Todos los microcontroladores de esta familia cuentan con una interfaz serie para periféricos (SPI) y una interfaz de comunicación serie (SCI) con el propósito de minimizar la intervención del CPU durante la transferencia de datos.

- El SCI es un puerto serie asíncrono de dos hilos que usa el formato NRZ (Non-Return-to-Zero). El baudaje de comunicación puede variarse mediante programación a valores proporcionales a los del oscilador del microcontrolador. Los datos a transmitir o recibidos se almacenan en un "buffer".

- El *SPI* es un puerto serie síncrono de cuatro hilos para comunicación a alta velocidad con periféricos especiales u otros microcontroladores. Los datos se transmiten y reciben al mismo tiempo, el baudaje de transmisión es programable.

Coprocesador Matemático

Algunos miembros de esta familia presentan un coprocesador matemático de 16 bits que acelera las operaciones de multiplicación y división en más de 10 veces. El coprocesador funciona de manera independiente al CPU y no requiere instrucciones especiales.

IV. 2 Microcontrolador MC68HC11A1.

Este microcontrolador satisface de manera adecuada las necesidades del sistema :

- a) Puertos de entrada y salida digital.
- b) Convertidor Analógico / Digital.
- d) Interrupciones por Temporizador.
- e) Comunicación Serie.
- f) Memoria EEPROM.

Los puertos de entrada digital son utilizados para registrar la posición inicial del manipulador y el inicio del proceso por medio de otro sistema digital.

Los puertos de salida son empleados para accionar los actuadores del sistema: control del valor y flujo corriente, habilitación de los calentadores, selección y control de los motores a pasos y aviso de terminación del proceso.

El convertidor analógico / digital registra la señal acondicionada del valor de la corriente de depósito, el voltaje entre los electrodos y la temperatura del electrolito en cada cuba.

Las interrupciones por el temporizador permiten tener un control del valor de la corriente de depósito mediante el uso de un troceador, permitiendo que el microcontrolador pueda realizar otras funciones al mismo tiempo.

La comunicación serie permite la conexión e interacción con algún otro dispositivo con la misma interfaz de comunicación, en nuestro caso, con una computadora personal.

La memoria EEPROM permite grabar el programa de control en el microcontrolador y ofrece la facilidad de modificación y regrabado.

Este microcontrolador cuenta con un programa monitor (BUFFALO) cargado por el fabricante en la memoria ROM. Este programa se inicia estando el microcontrolador en modo single-chip y teniendo la terminal E0 en "0" lógico, si esta terminal se encuentra en "1" lógico el microcontrolador ejecutará el programa que se encuentre almacenado en la memoria EEPROM.

Arquitectura básica de operación.

Para poder utilizar el μC en alguno de sus modos de operación es necesario implementar una arquitectura básica, en éste caso se utilizó la siguiente :

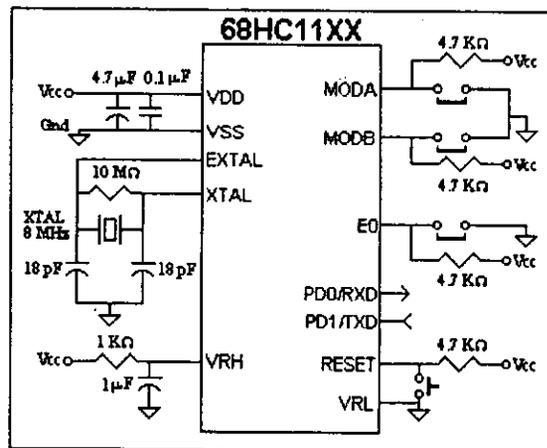


Figura 4.1. Configuración básica de operación.

IV. 3 Distribución de terminales.

Para nuestro sistema utilizamos la mayoría de las terminales del microcontrolador asignándolos a alguna de nuestras aplicaciones de la siguiente forma :

PUERTO A.

Entradas	PA0 - PA2 y PA7	Sensores de posición de RESET.
Bidireccional	PA3	
Salidas	PA4 - PA5	
Salidas	PA6	Ciclo de trabajo variable.

PUERTO B.

Salidas	PB0 - PB4	Habilitación de flujo de corriente.
Salidas	PB5 - PB6	Selección del motor.
Salida	PB7	Aviso de terminación

PUERTO C.

Salidas	PC0 - PC4	Control de calentadores.
Entradas	PC5 - PC6	Sensores del modo de espera.

PUERTO D.

Comunicación	PD0 - PD1	RxD y TxD.
Salidas	PD2 - PD6	Control de motores.

PUERTO E.

Conv. A/D	PE0	("1" EEPROM y "0" BUFFALO).
Conv. A/D	PE1 - PE5	Sensores de temperatura.
Conv. A/D	PE6	Sensor de corriente.
Conv. A/D	PE7	Sensor de voltaje.

IV. 4 Programación del microcontrolador.

Después de acondicionar las señales analógicas provenientes de los sensores y transductores utilizados para la adquisición de variables, se prosigue a emplear una arquitectura para convertir estas señales analógicas en señales digitales para facilitar su procesamiento y despliegue en la PC.

Inicialización del microcontrolador.

Nuestro programa se almacena en la memoria EEPROM del μC desde la dirección \$B600 hasta la B7F5, además utilizamos algunas localidades de memoria RAM : \$82, \$84, \$87 y la \$FF.

Debido a que el microcontrolador opera en modo "single-chip" después de activar el RESET del microcontrolador y tener la terminal E0 en "1", se ejecuta el programa que se encuentra almacenado en la dirección \$B600, que en nuestro caso es el origen del programa.

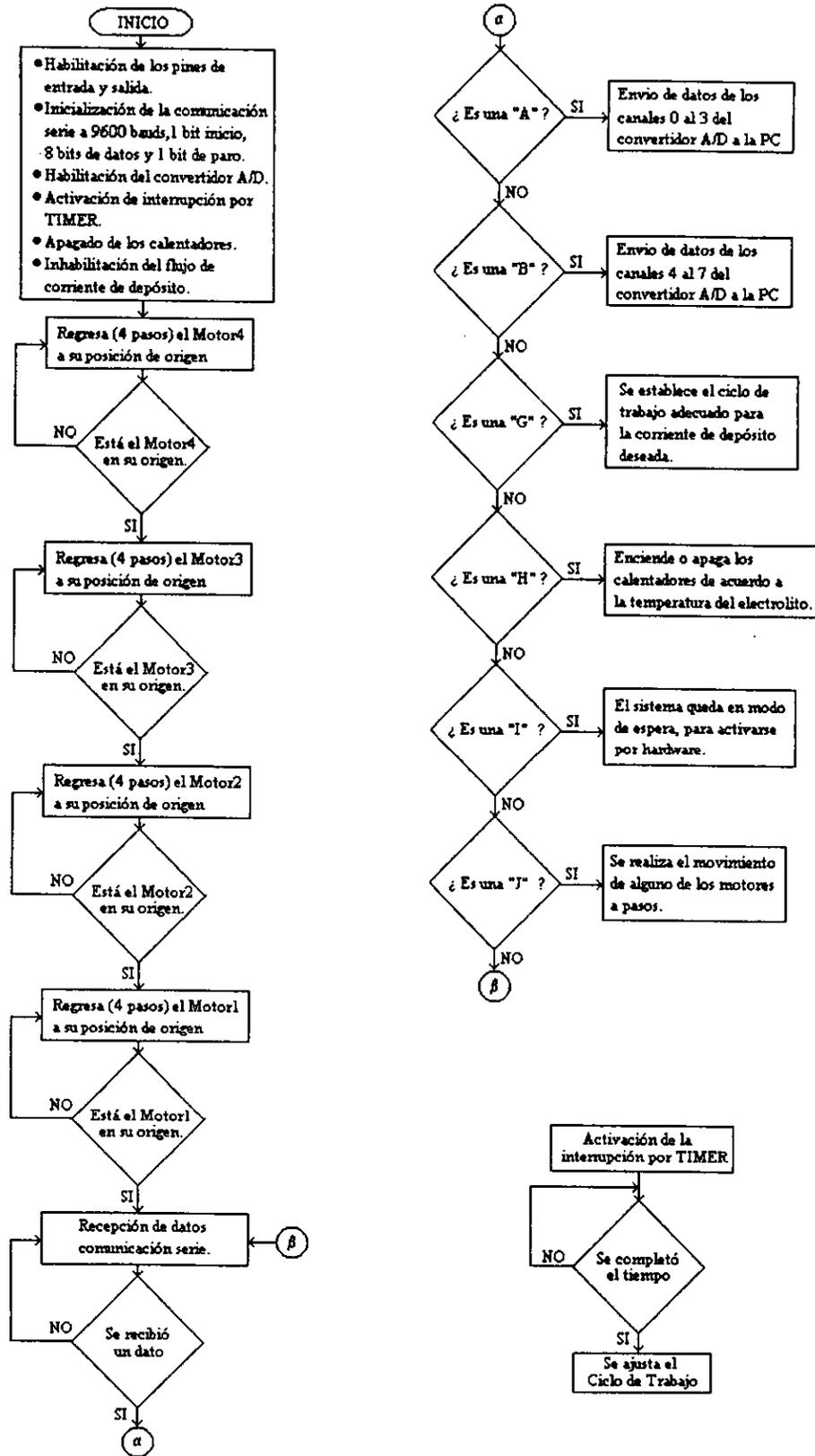


Figura 4.3. Diagrama de flujo del programa del microcontrolador.

Para este modo de operación el mapa de memoria queda de la siguiente forma :

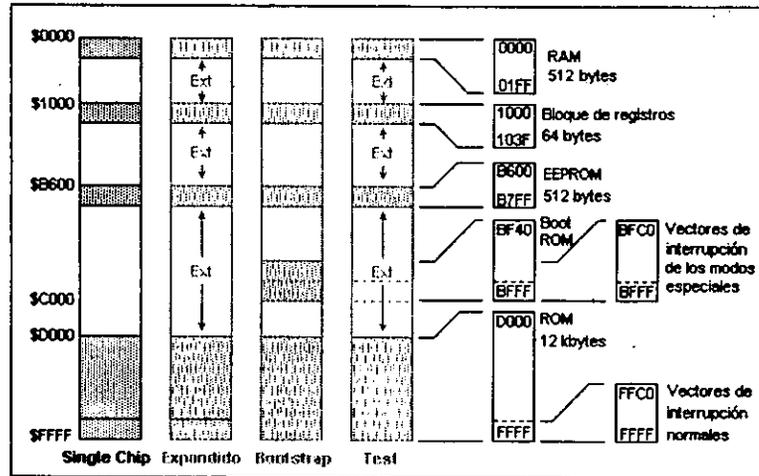


Figura 4.2. Mapa de memoria del microcontrolador.

Funcionamiento del programa.

Se inicializan las condiciones de trabajo del μC : se habilitan las terminales bidireccionales como entradas ó salidas, se establecen las condiciones de comunicación tipo serie (1 bit inicio, 8 bits de datos, 1 bit de paro a 9600 bauds), se habilita el convertidor analógico/digital, se habilita la interrupción por temporizador y se define la dirección de la rutina de servicio para la misma, se inicializa el contador de interrupción, se limpian las banderas de interrupción y se ponen a cero las terminales que controlan tanto el encendido de los calentadores como el flujo de corriente de depósito, con el fin de apagarlos y evitar el flujo de corriente hacia las cubas.

También se realiza una rutina de movimiento para los motores para colocar al manipulador en una posición de inicio sobre la primera tina de enjuague. Se realizará el movimiento de los motores hasta que los sensores de posición de inicio indiquen que ya se encuentra el manipulador en dicha posición. Hasta que se encuentre en la posición de inicio se podrá iniciar la ejecución del programa .

El programa se diseñó tipo menú para reducir al mínimo su tamaño. Se programaron una serie de rutinas ejecutadas por el microcontrolador (μC) y controladas desde la computadora personal (PC). Se tiene entonces una acción asignada para cada byte enviado por la PC al μC .

Byte	Acción del microcontrolador
A	Envía las conversiones de los canales 0 al 3 del Convertidor A / D.
B	Envía las conversiones de los canales 4 al 7 del Convertidor A / D.
G	Ciclo de trabajo variable para el troceador.
H	Encendido de los calentadores.
I	Modo de espera de encendido por hardware.
J	Accionamiento y selección de los motores.

Al recibir cada una de las letras, el μC las compara y ejecuta la acción correspondiente. Si la letra recibida no corresponde a ninguna de las rutinas programadas en el μC , entonces esperará otra letra hasta que corresponda a una que tenga asignada una tarea.

Letra "A".

Al recibir una letra "A" el microcontrolador habilita la conversión de los canales 0 a 3 del convertidor A/D. Después de realizar la conversión, transmite el resultado a la PC donde el programa de la misma lo recibe y lo procesa para desplegar los valores de la medición.

Letra "B".

Al recibir una letra "B" el microcontrolador habilita la conversión de los canales 3 a 7 del convertidor A/D, después realiza la conversión y transmite el resultado a la PC donde el programa de la misma lo recibe y lo procesa para desplegar los valores de la medición.

Letra "G".

Con la letra "G" se puede establecer el ciclo de trabajo empleado para el control de corriente mediante el troceador. Después de recibir esta letra, el μC espera tres valores más que asignarán el tiempo en alto, tiempo en bajo y la cuba a la cual se habilitará el flujo de corriente. Con estos valores se activa la interrupción por temporizador y se tiene un ciclo de trabajo variable. Después de esto el μC regresa a la rutina de comunicación para esperar otra instrucción.

El programa de la PC recibe el valor de corriente que está pasando por la carga y lo compara con el establecido por el usuario como condición inicial, si es diferente lo ajusta enviándole al μC otra "G" para indicar que cambiará el ciclo de trabajo con el fin de mantener el valor de corriente en las condiciones necesarias para el proceso.

Letra "H".

Se utiliza para el control de temperatura, cuando se recibe una "H" el μC espera otro valor que se escribirá en el puerto C para encender o apagar el calentador correspondiente para mantener la temperatura dentro de los límites del proceso.

La PC recibe la información del valor de temperatura de cada cuba y dependiendo de estas lecturas da la señal al μC para controlar el estado de los calentadores.

Letra "I".

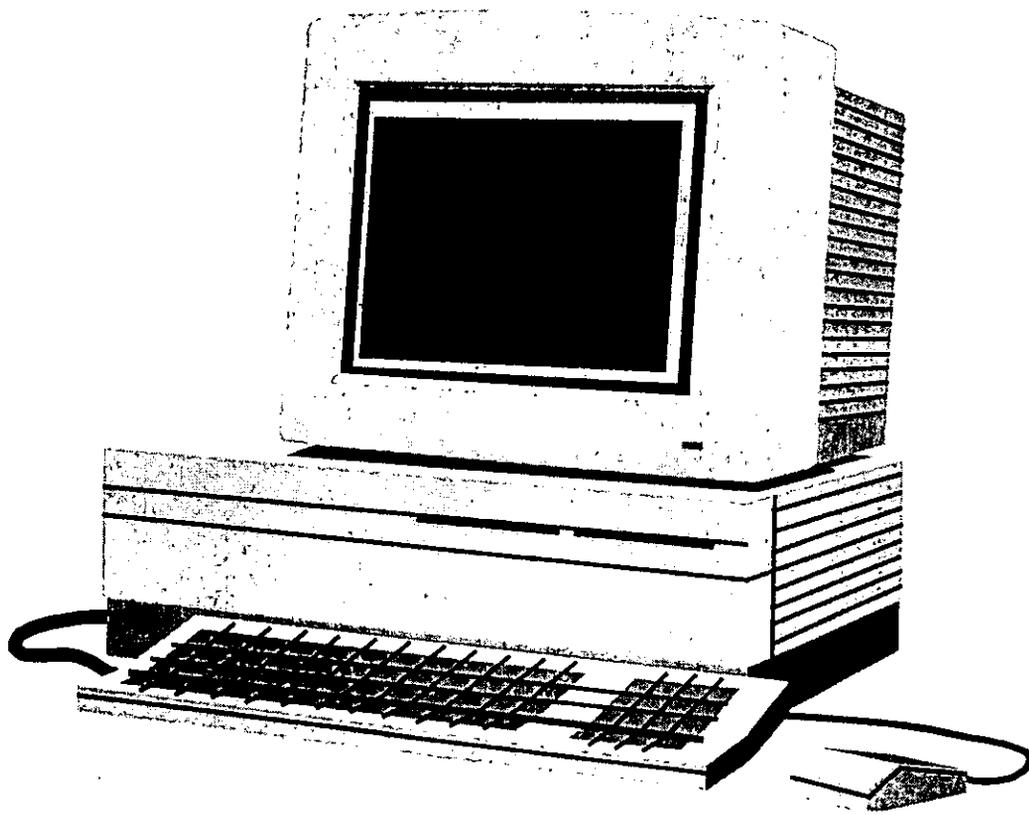
Al recibir esta letra el μC queda en modo de espera para inicio del programa por medio de otro sistema perteneciente a la planta de manufactura flexible, y se quedará así hasta que la terminal PC7 esté en "1" lógico, y dependiendo del estado de las terminales PC6 y PC7 mandará al la PC la indicación correspondiente a la ejecución del proceso indicado, se puede seleccionar uno de cuatro procesos programados en la PC.

Letra "J"

Cuando el μC reconoce esta letra, se ejecuta una subrutina llamada MOTOR, en la cual se espera de la PC la indicación del motor que será movido, después se verifica el sentido de giro del motor y dependiendo de éste, se ejecuta la rutina SECREG ó SECADEL, con las cuales se envían cuatro pasos de movimiento en el motor correspondiente, es decir 7.2 ° de giro. Las distancias que recorre cada dispositivo del manipulador están previamente medidas y programadas en la PC por lo que esta acción se repetirá el número de veces necesario para que llegue a la posición deseada.

CAPÍTULO V

PROGRAMA MONITOR EN VISUAL BASIC



V. PROGRAMA MONITOR

V.1. Introducción.

El programa para la PC funciona como vínculo entre el proceso y el usuario, ya que mediante él se pueden controlar las características del recubrimiento, así como monitorear las variables de posición, tiempo, temperatura, corriente de depósito y diferencia de potencial entre los electrodos que son las más significativas.

Se realizó en Visual Basic 3.0, que es un lenguaje de alto nivel que permite desarrollar un ambiente gráfico rápido y eficiente bajo Windows 3.1x para facilidad del usuario. Los requerimientos del programa son mínimos, puede operar en una máquina con procesador 80286 con Windows y 2 Megabytes de espacio en disco duro como mínimo.

V.2. Características del programa.

Este programa es el complemento del desarrollado para el microcontrolador. Su propósito es acondicionar la información proveniente del proceso de manera que el usuario tenga un despliegue fácil de asimilar. También realiza el control de la posición, de la corriente de depósito y de la temperatura.

El programa se desarrolló con seis "formas"¹ : CONTERM.FRM, INFO.FRM, LIMPIAR.FRM, PROCES.FRM, TESIS.FRM y un módulo de definición de variables globales : TESIS.GLO.

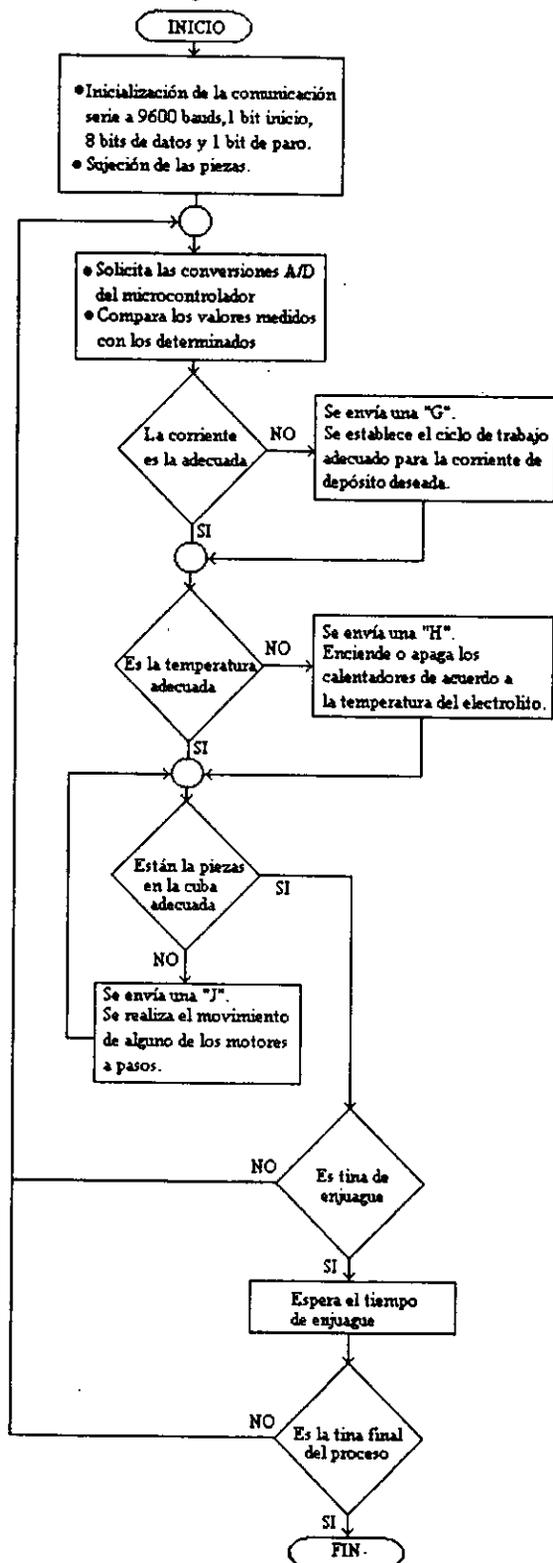
Utilizamos tres de los archivos biblioteca de Visual Basic 3.0 : CMDIALOG.VBX, MSCOMM.VBX y THREEED.VBX además del archivo VBRUN300.DLL, necesario para el funcionamiento del programa.

Dentro de cada forma utilizamos botones, cuadros de texto, imágenes, temporizadores, menús y otras de las herramientas del ambiente Windows.

¹ Más adelante se explicará este concepto.

V.2.1. Diagrama de flujo del programa.

El programa se desarrolló de la siguiente forma :



Como se describió en el capítulo IV, ambos programas se comunican mediante un menú, por eso en cada subrutina se manda primero la letra que identifica el proceso que realizará el microcontrolador a petición de la PC.

V.2.2.Descripción de las formas.

Con el nombre de "Form" (formas) Visual Basic se refiere a cada una de las ventanas que componen un proyecto. Es un concepto muy importante ya que en el interior de dichas formas existen los controles y códigos de programación. Cada una de estas ventanas se registra en un archivo diferente y esto tiene una gran ventaja ya que permite compartir una forma en distintos programas.

TESIS.FRM

Es la forma principal, en ella aparece la información que requiere el usuario para monitorear el proceso, está compuesta de una barra de menú (de donde se pueden acceder otras formas ó dar por terminado el proceso), tres botones (los cuales tienen asignada una acción al ser activados mediante un clic en el botón izquierdo del mouse ó mediante la combinación ALT+LETRA CLAVE del teclado), diecisiete cuadros de texto (quince para desplegar el valor de temperatura del electrolito, corriente de depósito y diferencia de potencial entre los electrodos, uno para informar del tiempo de inmersión de las piezas y otro para conocer el estado del proceso).

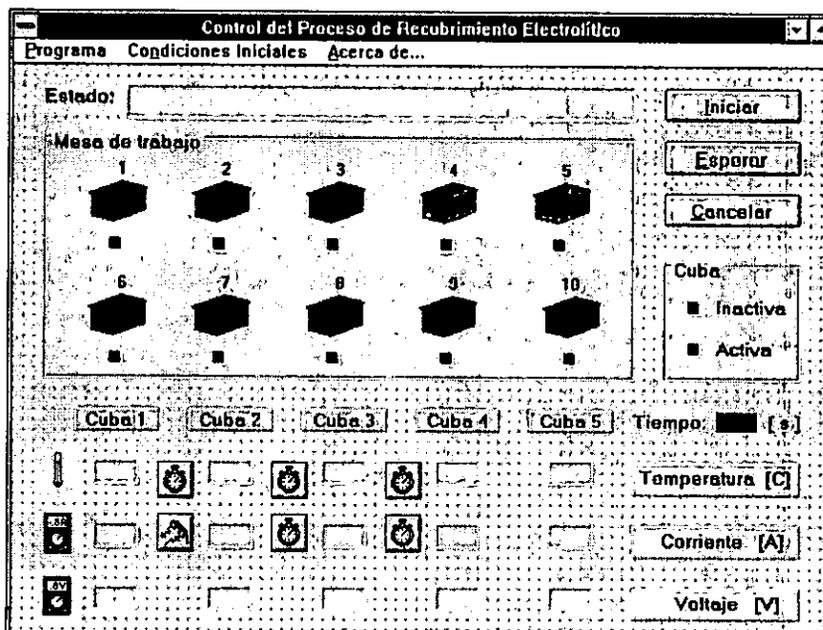


Figura 5.1. Forma "Tesis.FRM"

Se utilizan cinco temporizadores para tener control del tiempo de inmersión de las piezas y controlar la posición de las mismas en la mesa. Se tiene también un control de comunicación que sirve para acceder al puerto de comunicación serie que se requiera para el control del proceso (con él se define el puerto, el tipo de comunicación, la velocidad de transmisión y la longitud de la palabra a transmitir)

Aparecen doce pequeños cuadros, uno debajo de cada imagen de cuba y dos más que son de tipo informativo. Los que se encuentran debajo de las cubas indican cuando las piezas se encuentran en alguna de ellas.

Se observan también algunas imágenes, recuadros y etiquetas de carácter informativo.

Al *iniciar* el programa, la forma TESIS.FRM abre el puerto serie y se establecen las condiciones de comunicación, después se encienden todos los calentadores y se sujetan las piezas de la cuba 6 para que de acuerdo con los requerimientos del recubrimiento, realice las acciones necesarias.

Se piden los valores del convertidor A/D del microcontrolador, se acondicionan y se muestran en pantalla, el programa habilita la cuba correspondiente y a partir de los datos que se monitorean establece el control de las variables del proceso, después se realiza el traslado de las piezas a la cuba indicada. Se habilita el flujo de corriente con el ciclo de trabajo adecuado para proporcionar la corriente de depósito apropiada. Se toma el tiempo de inmersión y cuando se ha cumplido se trasladan las piezas al enjuague correspondiente y se verifica si sigue alguna otra cuba ó es el fin del proceso.

Cuando alguna de las variables sale de los valores determinados, el programa de la PC le indicará al microcontrolador la acción correctiva correspondiente. Por ejemplo, cuando la temperatura del electrolito de alguna de las cubas es mayor que la predeterminada, la PC manda los caracteres necesarios para que el microcontrolador apague el calentador respectivo.

CONTERM.FRM

En esta forma se presentan tres casillas de selección, que son utilizadas para definir el puerto serie de comunicación a usar. Cada casilla tiene asignado un código de programación requerido por Visual Basic 3.0 para la comunicación tipo serie.

INFO.FRM

Despliega información acerca de para quién está hecho el proyecto y no es más que una pantalla de texto con un temporizador para controlar su tiempo de aparición.

PROCES.FRM

Esta forma está ligada al manejo de archivos secuenciales, presenta quince cuadros de texto para almacenamiento de los datos y cuenta con cinco botones: Aceptar, Siguiente, Anterior, Limpiar y Cancelar, además de un cuadro de texto de información para indicar la secuencia en la que se almacenan los datos.

LIMPIAR.FRM

Tiene tres botones y se usa para borrar los datos almacenados en los archivos asignados a cada tipo de proceso, podemos tener hasta cuatro tipos de proceso a elegir a un mismo tiempo. Los botones son : Secuencia, Todo y Cancelar.

V.2.3. Definición de variables.

Las variables que se emplean en todas las formas se deben definir tipo global, para esto existe un módulo de definición de variables que en nuestro caso es TESIS.GLO.

V.2.4. Descripción de las bibliotecas de Visual Basic 3.0.

CMDIALOG.VBX

Esta biblioteca provee una serie de cuadros de diálogo para las tareas de abrir, guardar ó imprimir archivos .

MSCOMM.VBX

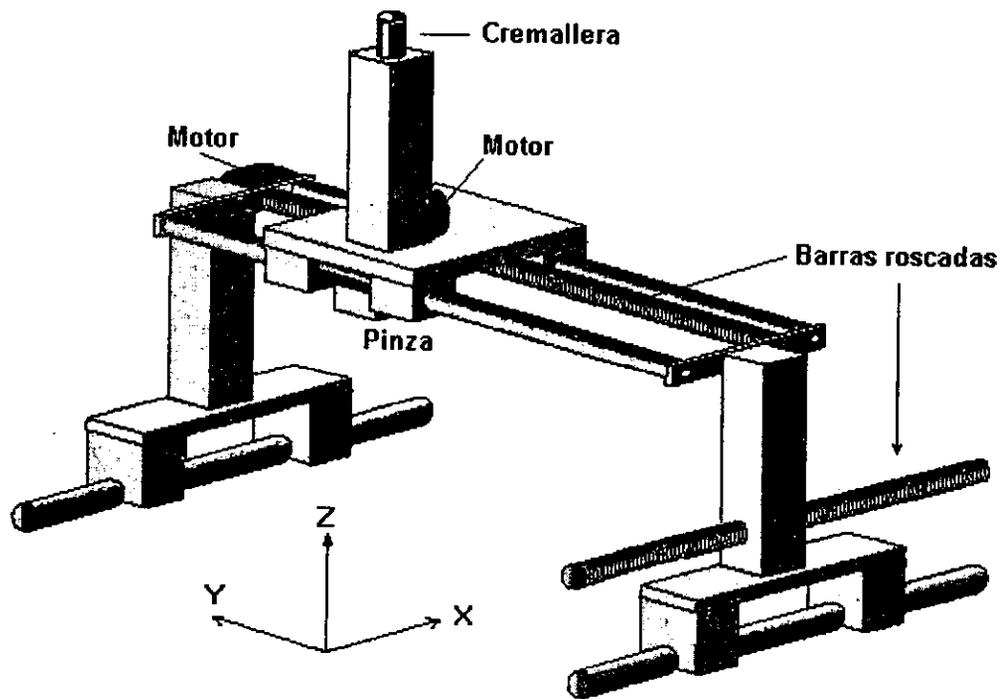
Es la biblioteca que maneja la comunicación a través de alguno de los puertos serie de la PC.

THREED.VBX

Permite el uso de objetos (botones, casillas de selección, etc.) dentro de nuestro programa.

CAPÍTULO VI

DISEÑO DE LOS ACTUADORES



VI. DISEÑO DE LOS ACTUADORES.

En este capítulo se presentan los pormenores en el diseño de los actuadores de las variables de temperatura, corriente y posición. Todos ellos emplean señales con niveles lógicos TTL provenientes del microcontrolador para la ejecución de las acciones necesarias.

V1. 1 Temperatura.

En el proceso de recubrimiento es necesario mantener la temperatura de los electrolitos en ciertos valores especificados por el usuario. El calentamiento se realiza a través de calentadores eléctricos, los cuales operan a 127 V. El control de la temperatura es del tipo ON / OFF, el cual consiste en "encender" o "apagar" el dispositivo que proporciona la energía necesaria para el calentamiento. La adquisición de la temperatura del electrolito y el procesamiento de esa información se ha mencionado en los capítulos anteriores, por lo que ahora nos centraremos en el diseño del circuito para el actuador.

Como el tipo de control empleado requiere conmutar el estado de los calentadores, se tienen varias posibilidades de realizar esta acción, desde el punto de vista electrónico. Entre ellas se encuentran dispositivos semiconductores como los triacs, por un lado, y los electromecánicos como los relevadores, por otro. Estos dos tipos de dispositivos presentan ventajas y desventajas, dependiendo de la aplicación a la cual se integren. A continuación se hace una breve revisión de sus principales características.

Los triacs son semiconductores que están diseñados para manejar señales de corriente alterna y cuentan con una compuerta para controlar las condiciones de disparo del dispositivo bilateral en cualquier dirección. La aplicación más común es el control de la potencia a la carga por medio de la conmutación conducción-corte durante las regiones positiva y negativa de la señal senoidal de entrada. En el mercado se pueden encontrar triacs de distintas características y precios, lo que los hace fácil de adquirir.

Por otro lado, los relevadores son dispositivos electromecánicos que permiten el paso de una corriente mediante un conmutador controlado por una bobina, que al ser polarizada atrae o repele magnéticamente al conmutador. Cuando la bobina no se encuentra polarizada, el conmutador regresa a su posición original. Los relevadores pueden manejar corrientes del orden de hasta 50 amperes a voltajes de 127 o 220 V. Una de sus principales ventajas es que al ser utilizados proporcionan un aislamiento eléctrico, ya que la interacción entre el conmutador y la

bobina es mecánico. No están diseñados para conmutar a grandes frecuencias debido a sus características mecánicas.

El control de temperatura requiere de un circuito capaz de manejar una corriente de aproximadamente 5 amperes y que proporcione un aislamiento eléctrico entre la etapa de potencia y la de control. Para la implementación de un circuito conformado por un triac, se requiere otro dispositivo electrónico que proporcione el aislamiento, como puede ser un optoacoplador. Otra alternativa la proporcionan directamente los relevadores, por sus características propias. De estas dos opciones se eligieron a los relevadores como elementos de conmutación, ya que se ajustan a las necesidades eléctricas tales como potencia y aislamiento, además de la facilidad de uso.

Las señales provenientes del microcontrolador pueden tener un valor de 5 o 0 V, correspondientes a los valores lógicos equivalentes "1" y "0", dependiendo del estado en el que se requieran los calentadores. Estas señales activan a los relevadores para encenderlos o apagarlos. Conociendo las características de los relevadores y las señales con las que se cuentan en el microcontrolador, se presenta a continuación el diseño elaborado para este caso.

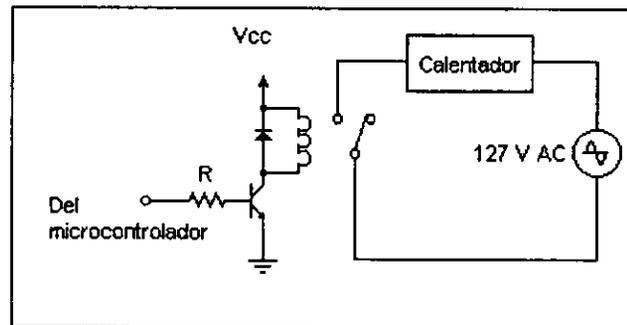


Figura 6.1. Activación de un relevador con entrada TTL.

Como podemos observar en la figura anterior, la polarización de la bobina se realiza mediante un transistor que está en corte o saturación, dependiendo del voltaje presentado en su base. Si este voltaje es 5 V, es decir un "1" lógico, el transistor se satura, permitiendo así que la diferencia de potencial en las terminales de la bobina del relevador sea aproximadamente 12 V, cerrando el circuito de alimentación del calentador. Si por el contrario, el voltaje en la base es de 0 V ("0" lógico), el transistor se encuentra en corte, y por lo tanto, en la bobina no se tiene diferencia de potencial en sus terminales. El diodo en antiparalelo con la bobina del relevador es colocado para proteger al transistor de la corriente almacenada en la bobina cuando el transistor se encuentra en corte.

Los relevadores empleados soportan una corriente de 5 A y su bobina se activa con 12 V, ambas magnitudes de corriente directa. Por lo tanto, manejando el transistor en corte o saturación es posible conmutar de 0 a 12 V mediante la configuración antes mencionada. El transistor

empleado es el BC-547, capaz de proporcionar hasta de 100 mA de corriente de colector, los cuales son suficientes para activar la bobina del relevador.

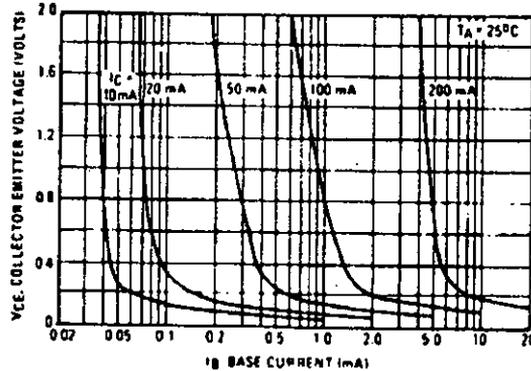


Figura 6.2. Región de saturación de colector.

Para calcular el valor del resistor de base, recurrimos a las hojas de especificaciones del transistor BC-547B (figura 6.2). En ellas encontramos que para una corriente de colector de saturación de 50 mA a un voltaje colector-emisor de 0.4 V, el valor de la corriente de base es de 0.4 mA. Por lo tanto, el valor del resistor de base se obtiene mediante la siguiente expresión:

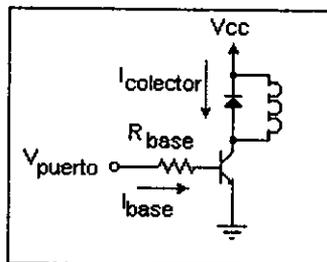


Figura 6.3. Configuración del transistor para activar el relevador.

$$R_{base} = \frac{V_{puerto} - V_{BE}}{I_{base}} = \frac{5 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{0.4 \text{ mA}} = \frac{4.3 \text{ V}}{0.4 \text{ mA}} = 10.75 \text{ k}\Omega$$

Con este valor, aseguramos que el transistor se encuentre en corte o saturación para hacer conmutar al relevador.

V1. 2 Corriente.

El flujo de corriente es proporcionado por una fuente de 50 A de corriente directa. El principio básico del actuador de corriente es el siguiente: el valor de corriente de la fuente se

mantiene constante a 40 A y mediante un circuito "troceador", esta magnitud es disminuida al valor deseado, ya que el valor de la corriente resultante es proporcional al ciclo de trabajo de la señal de control (ver figura 6.4).

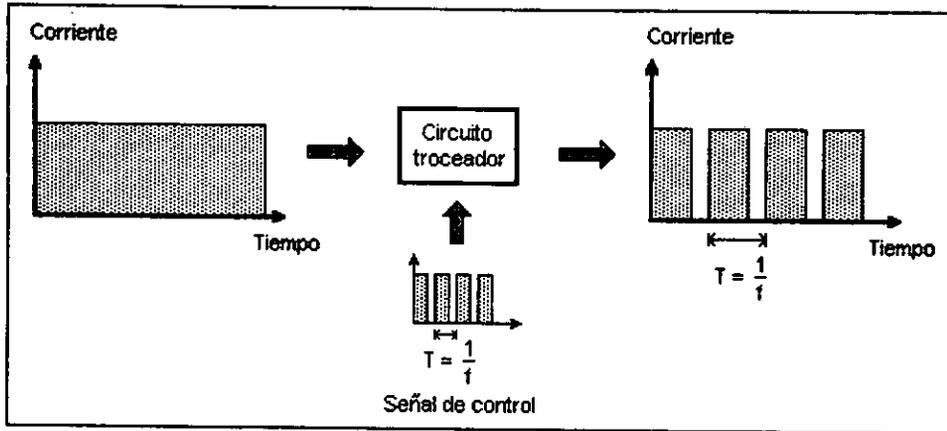


Figura 6.4. Principio de la limitación de corriente.

De este modo, si el ciclo de trabajo está definido como la razón entre el valor del tiempo en alto y el periodo de una señal, tenemos que el valor de la corriente después del circuito troceador es proporcional a esta razón:

$$I_{salida} = I_{entrada} \cdot D$$

donde:

$$D = \frac{\text{Tiempo en alto}}{\text{Periodo}}$$

La señal proveniente del microprocesador es una señal de 1.5 kHz con un ciclo de trabajo variable controlado por el programa monitor de la PC. La mínima variación del ciclo de trabajo que se consigue es de una centésima ($D/100$), por lo tanto, si la corriente máxima que se maneja es de 40 A, el cambio mínimo posible es de 0.4 A, la cual es suficiente para los fines que se persiguen.

Esta señal es empleada para encender o apagar a un transistor de potencia, el cual al estar en corte o saturación, permite o no el flujo de corriente de la fuente a las cubas.

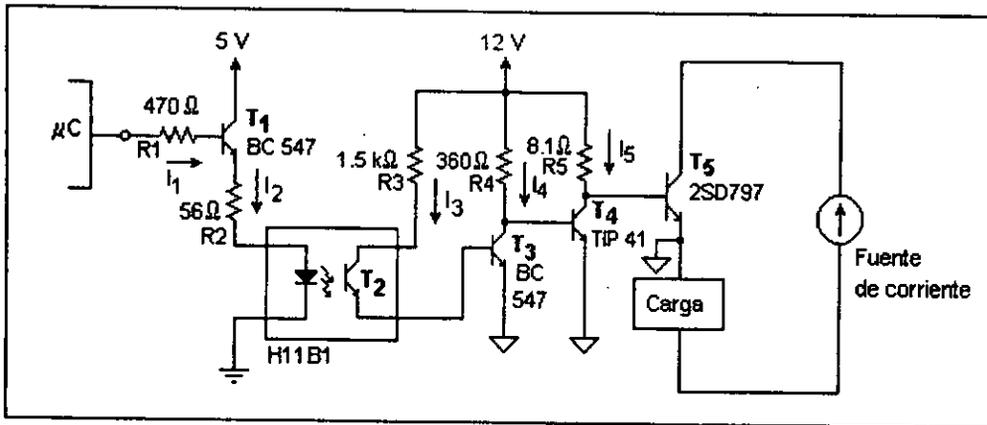


Figura 6.5. Diagrama del circuito troceador.

El circuito de control de corriente emplea un optoacoplador¹ para aislar la señal proveniente del microcontrolador de la etapa de potencia. Se utilizan tres transistores en corte y saturación para proporcionar la corriente necesaria al optoacoplador y al transistor de potencia. Como se mencionó anteriormente, la señal de control es una señal con una frecuencia de 1.5 kHz. Esta frecuencia es adecuada para transmitir la señal a través del optoacoplador y para la conmutación del transistor de potencia. Para el diseño de dicho circuito, consideraremos las características de los componentes y los posibles estados que puedan presentar.

Cuando la señal proveniente del microprocesador se encuentra en un nivel alto, es decir, 5 V ó "1" lógico, el transistor T_1 está en saturación, con lo cual el fotodiodo se enciende lo suficiente para que T_2 permita que se sature T_3 . Al encontrarse éste saturado, obliga a T_4 a permanecer en corte, y así, T_5 se enciende (ver figura 6.6).

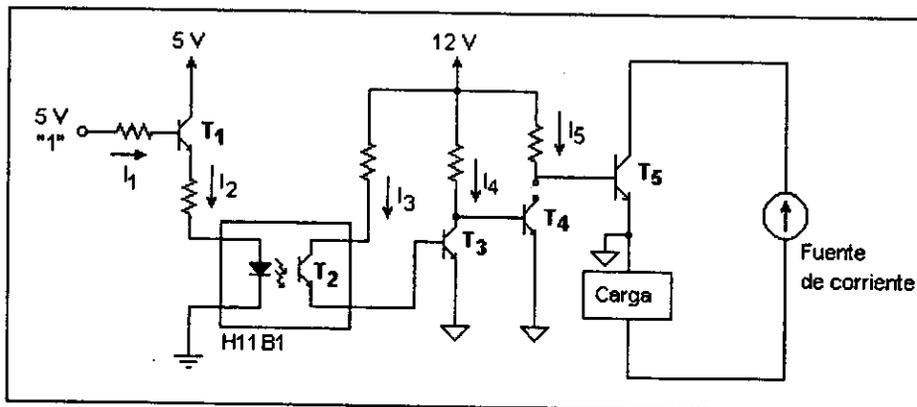


Figura 6.6. Estado del circuito de control con un nivel alto a la entrada.

Cuando el nivel a la salida es bajo ó "0" lógico, el transistor T_1 se encuentra en corte, por lo que el fotodiodo y el fototransistor no encienden. Esto provoca que T_3 se encuentre en corte y que,

en consecuencia, T_4 se sature, y si éste se satura, no existe corriente suficiente para encender al transistor T_5 (ver figura 6.7).

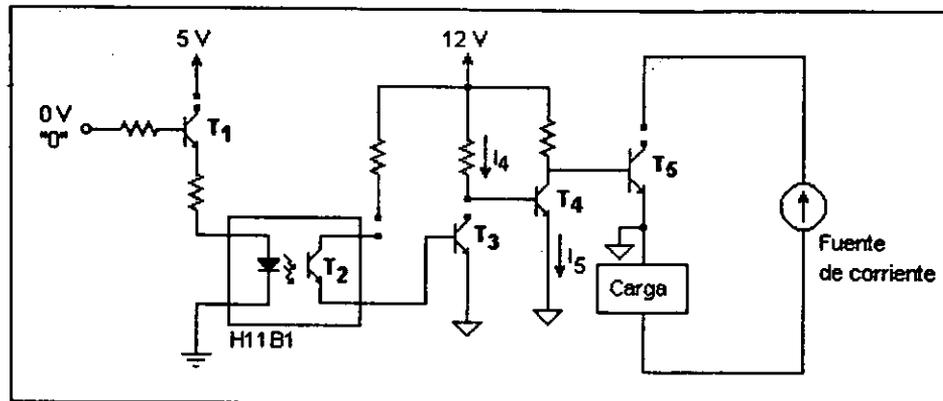


Figura 6.7. Estado del circuito de control con un nivel bajo a la entrada.

Para el cálculo de los resistores necesarios para polarizar a los transistores, se procedió a calcular a partir del transistor de potencia T_5 . Consideraremos que los valores de los resistores de colector de todos los transistores deben ser tales que permitan la saturación de los mismos. Para que el transistor T_5 encienda la corriente de base necesaria es del orden de 1.5 A. Por lo tanto, el transistor T_4 debe encontrarse en corte. El valor de la resistencia R_5 está dada por la ecuación de malla siguiente:

$$\begin{aligned} V_{CC} - R_5 \cdot I_5 - V_{BE5} &= 0 \\ 12\text{ V} - R_5 \cdot 1.5\text{ A} - 0.7\text{ V} &= 0 \\ R_5 &= \frac{12\text{ V} - 0.7\text{ V}}{1.5\text{ A}} \\ R_5 &= 7.53\ \Omega \end{aligned}$$

De acuerdo a las hojas de especificaciones del transistor TIP 41, a una corriente de colector de saturación de 1.5 A, la corriente de base es de 150 mA. Para este caso, la malla queda de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} V_{CC} - R_4 \cdot I_4 - V_{BE4} &= 0 \\ 12\text{ V} - R_4 \cdot 150\text{ mA} - 0.7\text{ V} &= 0 \\ R_4 &= \frac{12\text{ V} - 0.7\text{ V}}{150\text{ mA}} \end{aligned}$$

¹ Las características de este optoacoplador se explicaron en el capítulo 2.

$$R_4 = 75.33 \Omega$$

Para calcular el valor del resistor de base R_3 , recurrimos a las hojas de especificaciones del transistor BC-547B (figura 6.2). Para una corriente de colector de saturación de 50 mA a un voltaje colector-emisor de 0.4 V, el valor de la corriente de base es de 0.6 mA. Por lo tanto, el valor del resistor de base se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} V_{CC} - R_3 \cdot I_3 - V_{CEsat} - V_{BE} &= 0 \\ 12 \text{ V} - R_3 \cdot 0.6 \text{ mA} - 0.2 \text{ V} - 0.7 \text{ V} &= 0 \\ R_3 &= \frac{12 \text{ V} - 0.2 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{0.6 \text{ mA}} \\ R_3 &= 18.5 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

La corriente necesaria en el fotodiodo para que el fototransistor del optoacoplador H11B1 se encienda es de 50 mA. Para conseguirla, empleamos un transistor BC-547B, el cual a su vez necesita de una corriente de base de 0.35 mA para saturarse a un voltaje colector-emisor de saturación de 0.4 V (ver figura 6.2). Por lo tanto, considerando la malla formada por el transistor T_1 , el fotodiodo y el resistor en serie con él, obtenemos la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} V_{CC} - V_{CEsat} - R \cdot I_2 - V_{diodo} &= 0 \\ 5 \text{ V} - 0.6 \text{ V} - R \cdot 50 \text{ mA} - 1 \text{ V} &= 0 \\ R &= \frac{3.1 \text{ V}}{50 \text{ mA}} \\ R &= 62 \Omega \end{aligned}$$

de donde obtenemos el valor del resistor en serie con el fotodiodo. Por otro lado, considerando ahora la malla formada por el resistor de base, la unión base-emisor del transistor T_1 , el fotodiodo y el resistor en serie con él, tendríamos lo siguiente:

$$\begin{aligned} V - R_{base} \cdot I_1 - V_{BE} - R \cdot I_2 - V_{diodo} &= 0 \\ 5 \text{ V} - R_{base} \cdot 0.35 \text{ mA} - 0.7 \text{ V} - 62 \Omega \cdot 50 \text{ mA} - 1 \text{ V} &= 0 \\ R_{base} &= \frac{0.2 \text{ V}}{0.35 \text{ mA}} \\ R_{base} &= 571 \Omega \end{aligned}$$

De este modo quedan definidos los valores de los resistores del circuito de potencia de control de corriente (figura 6.5).

V1. 3 Posición.

Los motores a pasos pueden ser considerados como motores eléctricos sin conmutadores. Generalmente, todos los embobinados en un motor son parte del estator, y el rotor es un imán permanente o, en el caso de los motores de reluctancia variable, es un bloque dentado de algún material magnético blando. La conmutación debe ser manejada externamente por un controlador y, usualmente, los motores y controladores están diseñados para que el motor pueda ser manejado en cualquier posición predeterminada, así como ser rotado en un sentido u otro. La mayoría de los motores a pasos pueden rotar a frecuencias bajas, permitiendo girar rápidamente, y con el controlador apropiado, pueden ser encendidos o detenidos en un instante en orientaciones controladas.

Para algunas aplicaciones, existe la elección entre servomotores y motores a pasos. Los dos tipos de motores ofrecen características similares para el posicionamiento preciso, pero difieren en varias formas. Los servomotores requieren sistemas de control de realimentación analógica de algún tipo. Por lo general, ésto implica tener un potenciómetro que proporcione la realimentación acerca de la posición del rotor, y una circuitería capaz de manejar una corriente a través del motor inversamente proporcional a la diferencia entre la posición deseada y la posición actual.

Una variedad de detalles deben ser considerados en la elección entre servomotores y motores a pasos. Cuál de éstos es más importante, depende de la aplicación. Por ejemplo, el posicionamiento repetitivo realizado con un motor a pasos, depende de la geometría del rotor del motor, mientras que en un servomotor depende de la estabilidad del potenciómetro y otros componentes analógicos en el circuito de realimentación. Los motores a pasos pueden ser empleados en sistemas de control en malla abierta. Son adecuados generalmente en sistemas que operan a bajas aceleraciones con cargas estáticas, pero el control de malla cerrada es esencial para altas aceleraciones, particularmente si se trata de cargas variables. Si un motor a pasos en un sistema de control de malla abierta es sobrecargado, la referencia de la posición del rotor se pierde, y el sistema tiene que ser reinicializado. Los servomotores no presentan este problema.

Como se mencionó en el capítulo II, los motores a pasos son los dispositivos que se eligieron para el posicionamiento de las piezas a recubrir, por lo tanto se hará una descripción acerca de las características más importantes sobre el funcionamiento de este tipo de motores y el diseño de su controlador.

Un motor a pasos se define como un dispositivo cuyo eje tiene un movimiento que consiste en desplazamientos angulares discretos de magnitud uniforme cuando es controlado mediante una fuente de corriente directa conmutada. Es recomendable en aplicaciones donde las señales de control son pulsos digitales más que voltajes analógicos. Un pulso digital en un controlador de motor a pasos provoca que el motor incremente su movimiento en un ángulo preciso. Si los pulsos digitales aumentan su frecuencia, el movimiento del motor se convierte en una rotación continua.

Existen tres tipos básicos de motores a pasos de uso común:

- *Rotor activo: campo magnético permanente (CP)*
- *Rotor reactivo: reluctancia variable (RV)*
- *Combinación de CP y RV: Híbridos (Hi)*

Los motores empleados son de este último tipo, por lo que a continuación se presentan las principales características de estos motores.

Híbridos:

Este tipo de motores es conocido comúnmente como un motor de campo magnético permanente. Emplea una combinación entre la estructura de un motor de campo magnético permanente y uno de reluctancia variable. Su construcción es similar a la de un motor de inducción (figura 6.8). La figura 6.9 muestra un tipo de motor híbrido simplificado para ilustrar su construcción. El rotor está formado por dos piezas (yugos) con polos salientes espaciados de una manera uniforme. Un imán permanente circular los separa. Los yugos tienen flujo constante con polaridad opuesta.

Por otra parte, el estator está formado con láminas de acero. El motor mostrado en la figura 6.9 tiene cuatro bobinas colocadas en dos grupos de dos en serie donde un par de bobinas forman la fase A y el otro la fase B. Para el motor mostrado cada polo tiene un diente. El número de pasos completos por revolución puede ser determinado de la siguiente fórmula:

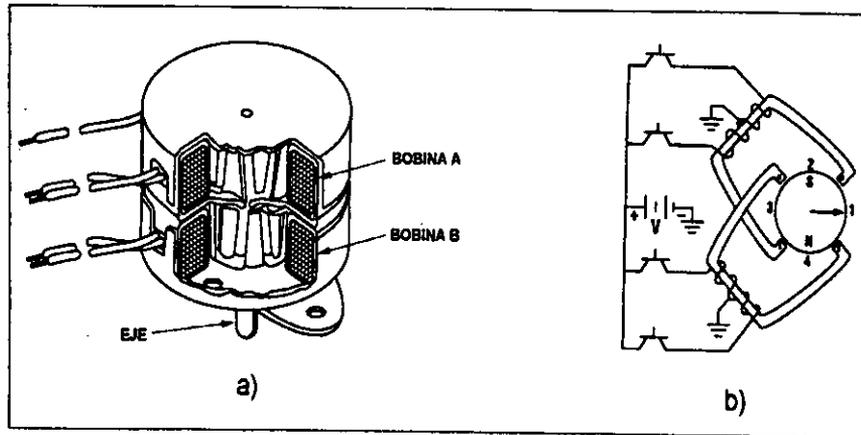


Figura 6.8. a) Corte de un motor a pasos de tipo híbrido; b) diagrama esquemático del mismo motor.

$$PPR = N_R \cdot \Phi$$

donde PPR es el número de pasos por revolución.

N_R es el número de dientes del rotor.

Φ es el número de fases del motor

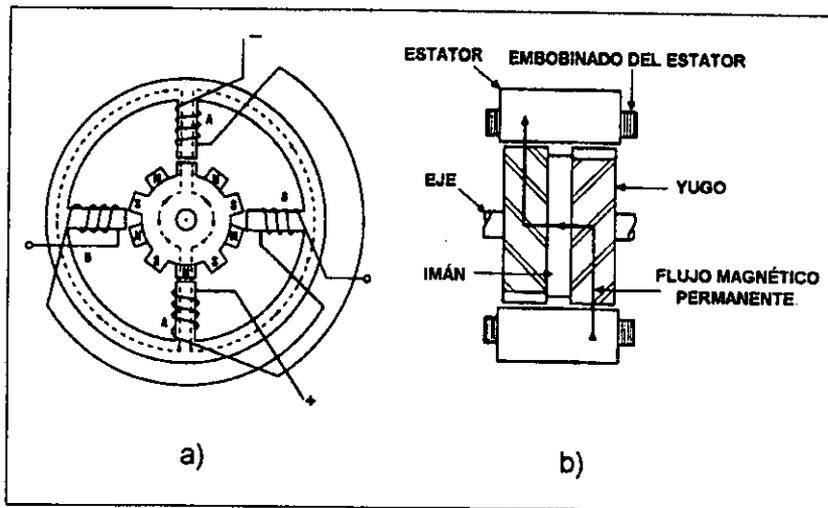


Figura 6.9. a) Sección transversal, fase A energizada; b) vista longitudinal.

Los motores presentan dos bobinas en el estator con tap central. Estos tap centrales se conectan comúnmente a una fuente positiva. Llamaremos a los embobinados $1a$, $1b$, $2a$ y $2b$, donde cada una de las bobinas tiene terminales a y b (figura 6.10). Si suponemos una lógica positiva en las cuatro salidas necesarias para el control del motor, las secuencias de las señales que lo harán rotar son las siguientes:

Secuencia A									
Bobina 1a	1	0	0	0	1	...			
Bobina 1b	0	0	1	0	0	...			
Bobina 2a	0	1	0	0	0	...			
Bobina 2b	0	0	0	1	0	...			

Secuencia B									
Bobina 1a	1	1	0	0	1	...			
Bobina 1b	0	0	1	1	0	...			
Bobina 2a	0	1	1	0	0	...			
Bobina 2b	1	0	0	1	1	...			

Tabla 6.1. Secuencias de las señales de control para los motores a pasos.

A) energizando sólo una bobina, B) energizando dos bobinas.

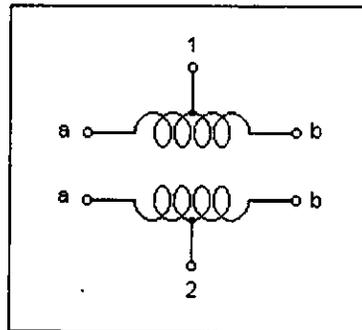


Figura 6.10. Embobinado de los motores

Hay que notar que las dos mitades de cada bobina nunca están energizadas al mismo tiempo. La secuencia A) sólo energiza una bobina a la vez y, por lo tanto, consume menos potencia. En la secuencia B) dos bobinas son las que se energizan y generalmente producen un torque 1.4 veces más grande que la secuencia A) utilizando el doble de energía.

El control de los motores a pasos se realiza mediante el programa monitor, el microcontrolador y un circuito de potencia diseñado especialmente para este fin. El programa monitor decide qué motor tiene que moverse y en qué sentido, ya que sólo es necesario el movimiento de un motor a la vez. Esta información es enviada al microcontrolador, donde se encuentran almacenadas las secuencias necesarias para mover los motores. Cabe mencionar que los cuatro motores empleados son del mismo tipo (es decir, híbridos, con cuatro bobinas), por lo que manejan exactamente las mismas secuencias, y por lo tanto, es necesario contar con dos de ellas, una para realizar un movimiento hacia adelante y otra para un movimiento hacia atrás. Las secuencias son enviadas por el microcontrolador hacia el circuito de potencia a través de cuatro terminales (una para cada bobina del motor). Por lo tanto, para manejar cuatro motores a partir de sólo seis terminales es necesario demultiplexar la información que provenga de ellas. De este modo se puede habilitar el motor adecuado con dos terminales y enviar la secuencia para el movimiento requerido con las otras cuatro. A continuación se presenta una tabla que contiene los valores de las terminales del microcontrolador y la función que desempeñan en el circuito de potencia.

Terminal PB6	Terminal PB5	Motor elegido
0	0	1, eje X
0	1	2, eje Y
1	0	3, eje Z
1	1	4, pinzas

Tabla 6.2. Elección del motor a mover mediante las terminales PB5 y PB6 del microcontrolador.

El diagrama electrónico empleado para elegir y mover los motores se presenta en la figura 6.11. En ella podemos observar sólo los componentes necesarios para el envío de la información requerida para energizar la primer bobina de cada uno de los cuatro motores.

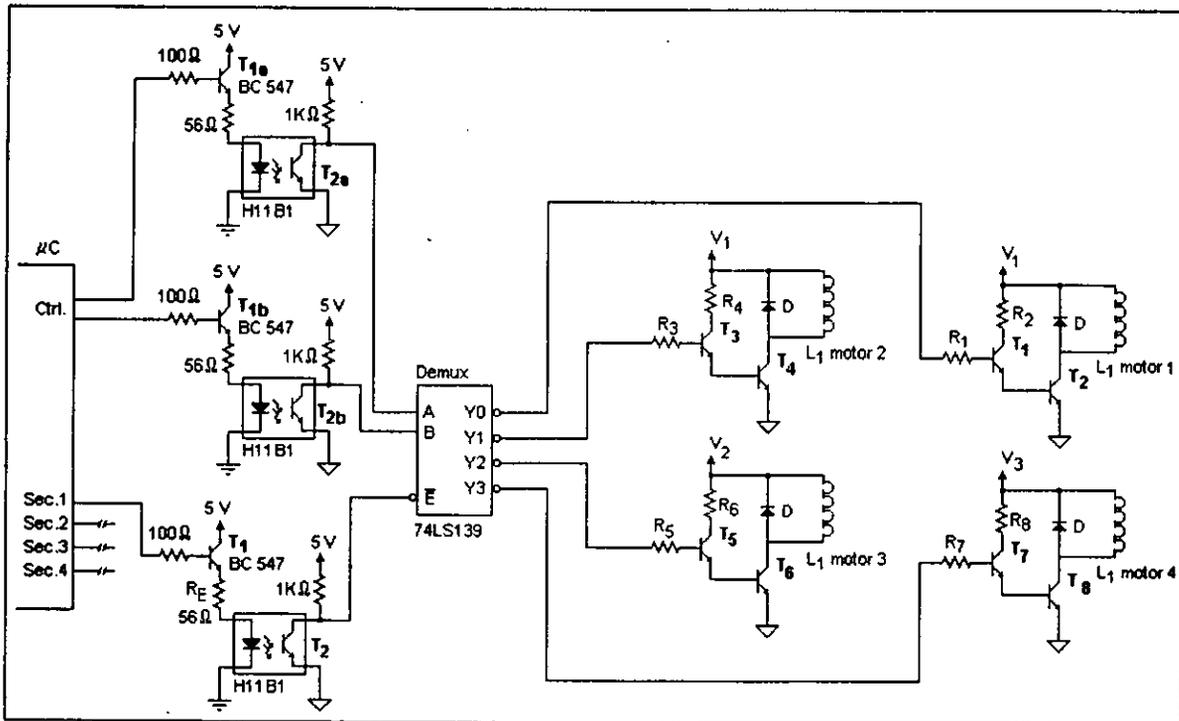


Figura 6.11. Diagrama del control de los motores a pasos (una sola fase).

Como se mencionó anteriormente, dos son las terminales necesarias para la selección del motor a mover, ya que se tiene que elegir entre cuatro posibilidades. El circuito integrado 74LS139 nos permite realizarlo. Éste presenta dos demultiplexores, que cuentan con dos terminales (A ó B) para la elección de una de sus cuatro salidas (Y0, Y1, Y2 o Y3), además de una terminal para la señal de entrada (E). De este modo, mediante las terminales A y B podemos "direccionar" la señal de excitación que ingresa por la terminal E que sale por alguna de las terminales Y0, Y1, Y2 o Y3

hacia la bobina del motor a mover. Por ejemplo, si se desea que el motor 1 (eje X) gire, el valor de las señales para A y B serán "0", "0" respectivamente. Estos valores provienen del microcontrolador y son dirigidos hacia cuatro demultiplexores al mismo tiempo, uno para cada bobina de los motores. De este modo, en todos los demultiplexores se elige al mismo tiempo la salida Y0, es decir, por estas cuatro salidas se presentan los valores de la secuencia necesaria para mover al motor 1. Es así como se puede elegir en el momento adecuado cualquiera de los otros tres motores.

Las señales de la secuencia para mover a los motores se encuentran aisladas eléctricamente mediante un optoacoplador. Cada una de las salidas del microcontrolador encienden un transistor BC-547B para proporcionar la corriente necesaria al fotodiodo, para que éste a su vez encienda el fototransistor y así pueda llegar la señal al demultiplexor.

De acuerdo con las especificaciones del optoacoplador, la corriente que debe pasar por el led es de 60mA y el voltaje entre sus terminales es de 1.3 V, por lo que la resistencia de emisor de T₁, T_{1a}, T_{1b} y de los otros tres puertos se calcula de la siguiente forma :

Como T1 se encuentra en saturación:

$$V_{CC} - V_{CEsat} - 60mA (R_E) - 1.3V = 0$$

$$R_E = \frac{V_{CC} - V_{CEsat} - 1.3V}{60mA}$$

$$R_E = \frac{5 - 0.2V - 1.3V}{60mA}$$

$$R_E = 58.3 \Omega$$

Como se observa en la figura 6.11, el diagrama electrónico sólo muestra un demultiplexor, ya que los tres restantes son similares, y el circuito completo puede apreciarse en el *ANEXO I*.

Recordando lo que se mencionó anteriormente, cada una de las salidas del demultiplexor está relacionada con una de las bobinas de los cuatro motores. Por ejemplo, la salida Y0 está conectada a la bobina 1a del motor 1, la salida Y1 a la bobina 1a del motor 2 y así sucesivamente. Para el segundo demultiplexor, la salida Y0 estará conectada a la bobina 2a del motor 1, la salida Y1 a la bobina 2a del motor 2 al igual que con las demás salidas. Con los demultiplexores restantes sucede lo mismo.

Para proporcionar a las bobinas de los motores la corriente necesaria para efectuar el movimiento del rotor, se emplearon transistores. Como se manejaron tres tipos diferentes de ellos, a continuación presentamos sus características eléctricas para así explicar la parte de potencia del circuito de la figura 6.11.

Motor	Angulo por paso	Volts	Amperes	Ohms
1, Eje X	1.8 °	3	4	0.75
2, Eje Y	1.8 °	3	4	0.75
3, Eje Z	1.8 °	24	0.3	80
4, Pinzas	1.8 °	12	0.36	33

Tabla 6.3. Características de los motores a pasos.

Para los motores 1 y 2, que presentan las mismas características, se empleó un circuito formado por dos transistores de la siguiente manera:

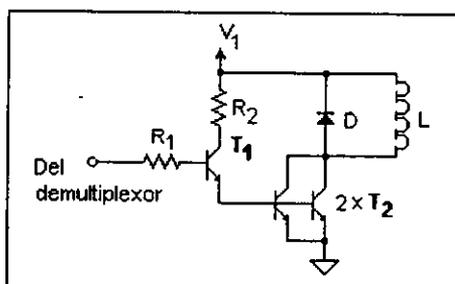


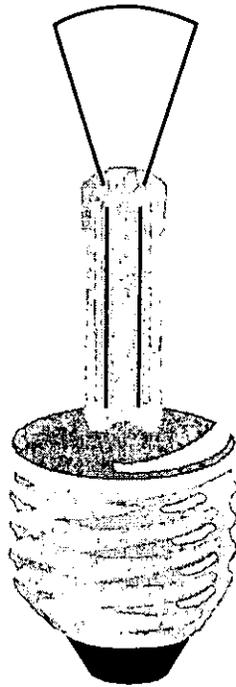
Figura 6.12. Circuito para proporcionar corriente a las bobinas de los motores 1 y 2.

El transistor T_1 es un BC547 y los transistores T_2 son TIP 41. Éstos trabajan en las zonas de saturación y corte a una frecuencia que se define en el programa monitor, necesaria para que el rotor de los motores gire a una velocidad adecuada. El valor de R_1 es de 470Ω y el de R_2 de 100Ω .

Como T_1 se encuentra trabajando en la región de corte y saturación, al momento de saturarse provoca que T_2 también se encuentre en saturación y la bobina se polarice, dando el impulso necesario para que el motor de un paso, esto sucede con cada una de las bobinas a distintos tiempos, logrando así el movimiento continuo del rotor.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES



FALTA PAGINA

No. **61**

VII. CONCLUSIONES.

Este proyecto tuvo como finalidad proporcionar un sistema que permitiera realizar prácticas de laboratorio de recubrimientos electrolíticos en forma automática, segura y confiable. Como se mostró en el capítulo II, el sistema está formado por tres bloques principales. Cada uno de ellos presentó características propias que influyeron en la manera de ser diseñados e implementados. En forma general, la estructura del sistema es empleada comúnmente en sistemas de instrumentación electrónica, en la cual intervienen las etapas antes mencionadas.

Se comparó el costo de nuestro proyecto con las opciones que empresas dedicadas a la automatización como Teleneumatic y Festo ofrecen, lográndose un costo mucho menor y un sistema desarrollado expresamente para satisfacer los requerimientos del laboratorio de recubrimientos de la UDIATEM. La parte mecánica del sistema fue posible gracias al trabajo de René Preza, quien a partir de nuestra idea original elaboró los sistemas mecánicos adecuados para conseguir el movimiento en los tres ejes que se necesitaba.

Se realizó el diseño y construcción de todos los circuitos impresos necesarios para la implementación del proyecto, dividiéndose en cinco tarjetas de circuito impreso, dos de ellas a doble cara: una para el control de motores y la otra la arquitectura del microcontrolador que denominamos tarjeta madre. La tres tarjetas restantes a una sola cara son para el control de temperatura, la adquisición y control de la corriente de depósito y la medición de la diferencia de potencial entre los electrodos. La última tarjeta se encarga del control de temperatura. Las tres tarjetas de una sola cara las elaboramos en el Instituto de Física de la UNAM mediante métodos fotográficos con la ayuda de Edgar Méndez.

La etapa de adquisición y acondicionamiento de variables implicó la selección de los transductores adecuados dadas las condiciones del proceso de recubrimiento y las características del convertidor A / D del microcontrolador. La selección del transductor de temperatura LM35 resultó ser conveniente, dado que sus características eléctricas y físicas, aunadas a su bajo costo, resolvieron satisfactoriamente las necesidades presentadas.

La adquisición del valor de corriente eléctrica implicó varias consideraciones. La primera de ellas es la magnitud de la corriente a emplear, ya que al alcanzar valores de hasta un máximo de 40 amperes, era necesario considerar un aislamiento eléctrico para garantizar la seguridad de los usuarios y del sistema electrónico. Los métodos más recomendables para este tipo de mediciones aconsejaban la utilización de un transformador de corriente. El problema radicaba en que la señal

era de corriente directa, lo cual anulaba la posibilidad de emplear esta herramienta. La forma más directa y sencilla de registrar el valor de esta corriente fue a través de un resistor en serie, pero de un valor suficientemente pequeño para no disipar potencia en exceso. El arreglo empleado permitió disminuir el efecto de disipación de potencia, manteniéndose en límites razonables (menor del 10%), sin embargo, se requirió de una etapa de aislamiento eléctrico para la protección de los circuitos de medición.

Para registrar el valor de la diferencia de potencial en los electrodos de las cubas, bastó sólo con realizar una medición directa en ellos, acondicionando la señal en magnitud y empleando el mismo principio de aislamiento en el caso de la corriente eléctrica.

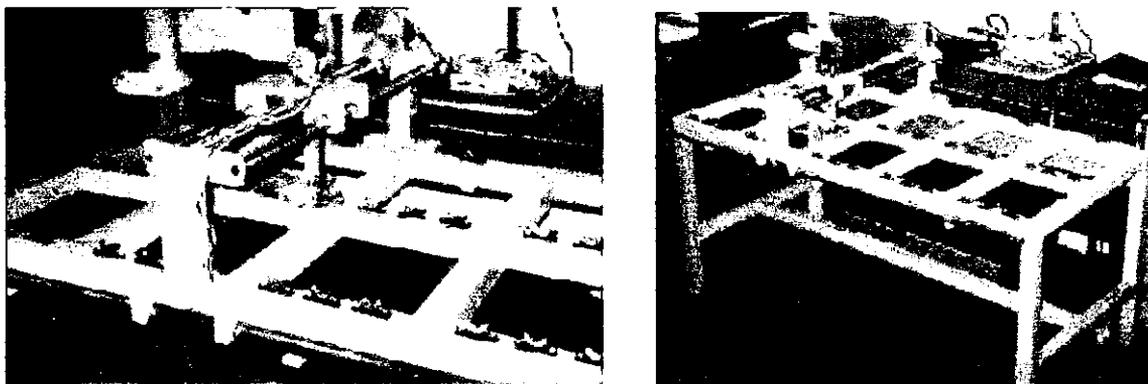
La utilización del MC68HC11A1 como elemento fundamental de la arquitectura del sistema permite contar con un microcontrolador que reúne las características necesarias para este proyecto: memoria EEPROM (para almacenar el programa de control), convertidor A/D (para adquirir los valores de los parámetros de interés), puerto de comunicación serie (para interactuar con una computadora personal) y puertos de entrada y salida para el control de los actuadores del proceso. El aprovechamiento de estos recursos se realizó de manera eficiente. El programa para el microcontrolador se ajusta perfectamente en tamaño al espacio disponible (512 bytes) en la memoria EEPROM, ya que su tamaño es de 510 bytes. Ésto se logró empleando un menú de comunicación-acción entre el microcontrolador y la computadora personal. Siete de los ocho canales del convertidor A/D sirvieron para la adquisición de temperatura, corriente y voltaje; el ciclo de trabajo variable necesario en el control de corriente se genera a partir de interrupciones internas; la comunicación con la computadora emplea las capacidades que ofrece el puerto serie asíncrono, además de las terminales de los puertos restantes que se encargaron del envío de información a los actuadores necesarios. Cabe mencionar que la grabación del programa del microcontrolador se realizó con el programa PUMMA, elaborado por el Ing. Antonio Salvá Calleja, que resultó de gran ayuda por su facilidad de uso y apego a nuestras necesidades.

Otra de las etapas del sistema es el control de las variables implicadas en el proceso. Para el control de la temperatura fue suficiente el tipo de control empleado (ON/OFF). Este permite mantener el electrolito dentro del intervalo de temperatura adecuado. El circuito troceador implementado en la limitación del valor de corriente directa permitió, mediante el programa monitor, variaciones de hasta un centésimo del valor máximo.

El movimiento mediante motores a pasos de las piezas metálicas a recubrir, presenta tiempos de desplazamiento no muy rápidos, pues para trasladar las piezas desde las cubas de recubrimiento a las de enjuague, se requiere por lo menos de 10 segundos de escurrimiento y una

velocidad tal que no provoque la caída de las piezas. El tiempo que tarda en desplazarse el posicionador de una tina a otra es de un minuto. Se diseñó un programa de control en un ambiente amigable al usuario (Windows), para facilitar su uso, su interfaz gráfica presenta la información necesaria para el monitoreo del proceso, permite guardar parámetros de hasta cuatro procesos distintos y activarlos desde la PC o una terminal externa (en nuestro caso una planta de manufactura flexible), dependiendo de las necesidades del usuario. Dada la arquitectura empleada, este sistema podría controlar otro tipo de proceso mediante pequeñas modificaciones en la adquisición de variables y/o en el control de los actuadores.

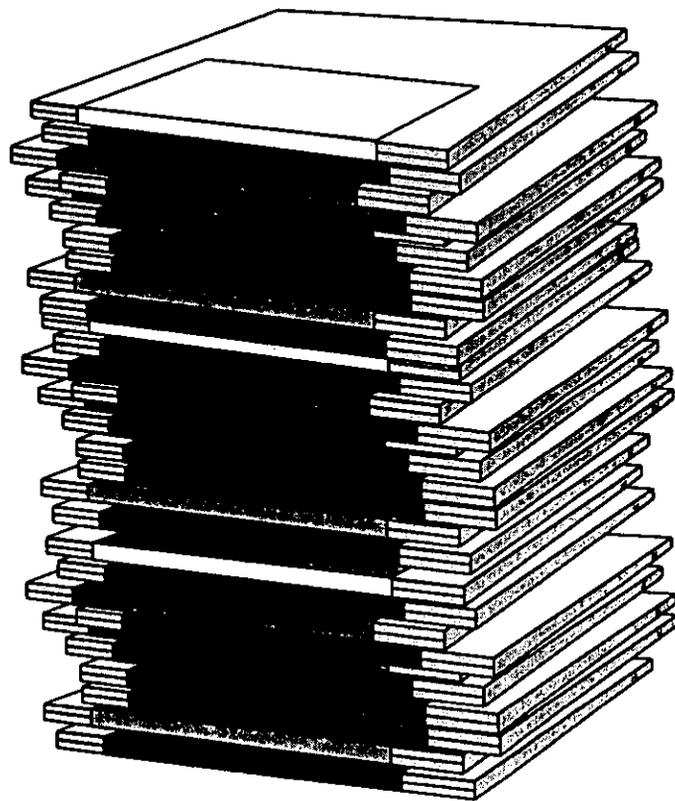
El proyecto se encuentra ensamblado en un 80% y en las siguientes fotografías se puede observar el aspecto final de la mesa de trabajo. Es necesario subrayar que el apoyo y el financiamiento necesarios para la realización de este trabajo, se obtuvieron de DGAPA mediante el proyecto IN- 505495, bajo la supervisión del M. I. Armando Ortiz Prado.



Aspecto actual de la mesa de trabajo.

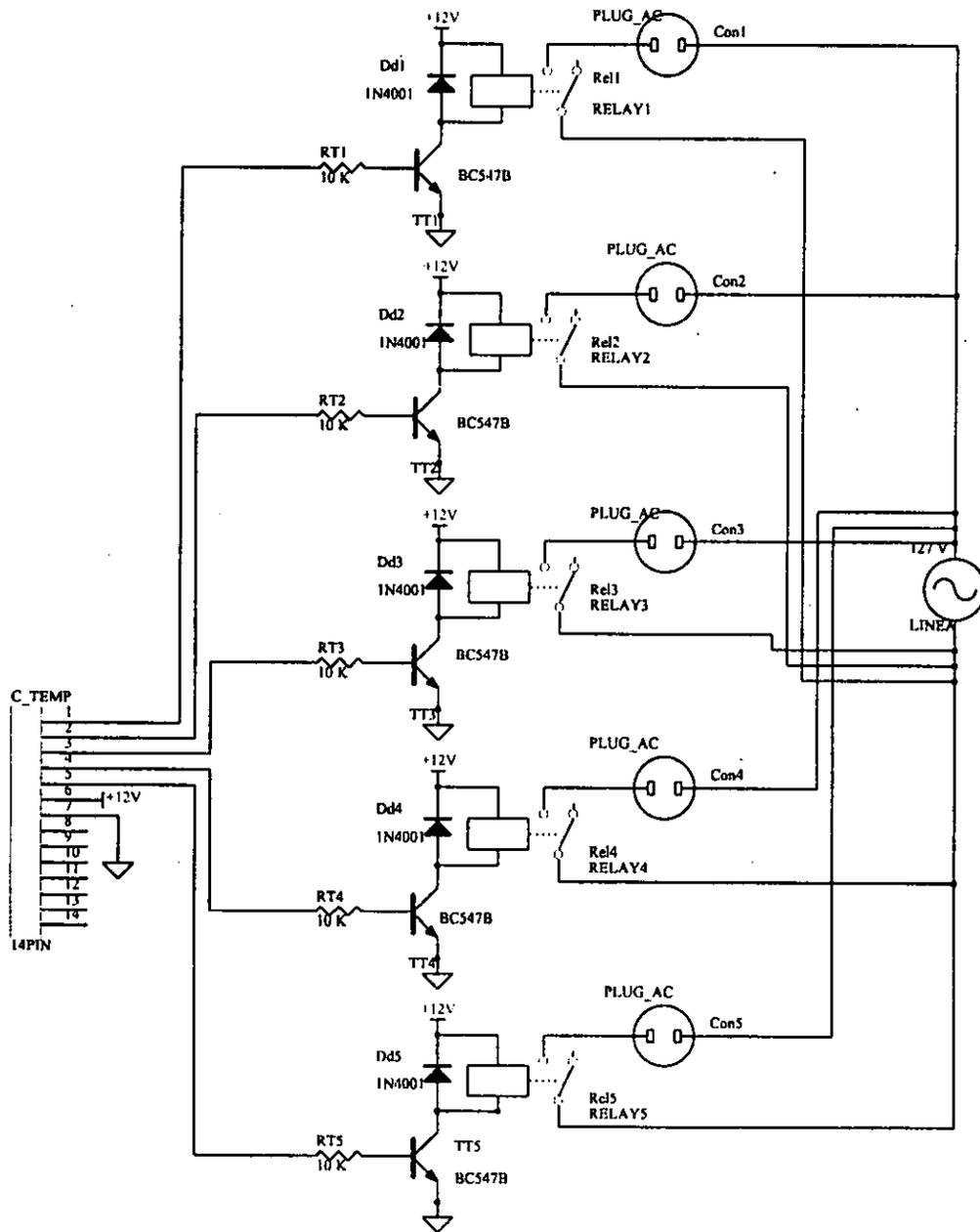
El propósito de este proyecto es la automatización de un proceso de recubrimiento electrolítico dentro de una celda de manufactura flexible de acuerdo a las características del proceso, que permita su control desde la estación de mando central. El programa monitor para la PC se desarrolló en un ambiente gráfico para facilitar su uso y el despliegue de la información captada de la mesa de trabajo. Debido a que el sistema se diseñó en forma modular puede ser utilizado con pequeñas modificaciones (cambio de tarjetas de adquisición y/o control, modificación en la asignación de variables) para algún otro proceso industrial. En su conjunto forma un sistema capaz de manejar de manera más eficiente un proceso que requiere de un esfuerzo humano que bien podría aprovecharse de una mejor manera.

ANEXOS

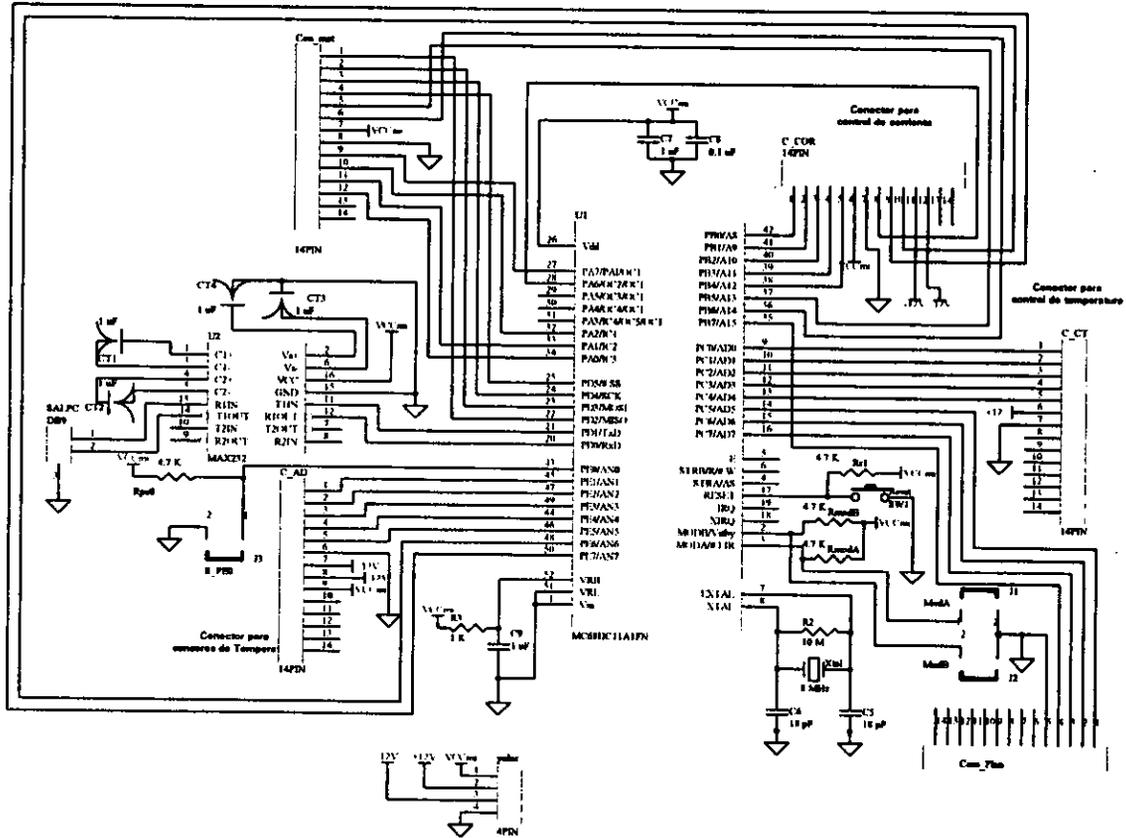


ANEXO I. DIAGRAMAS ELECTRICOS DEL SISTEMA.

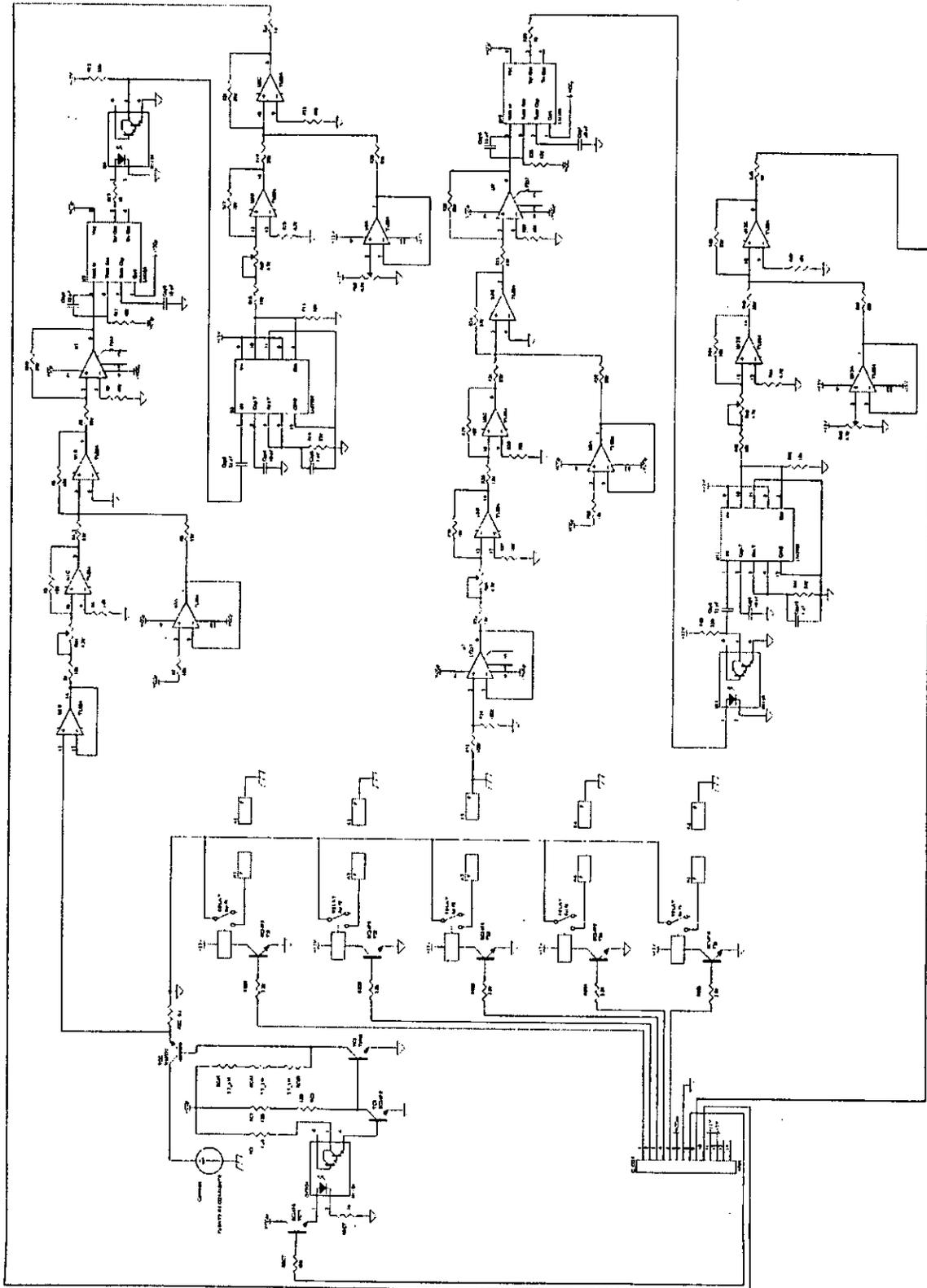
Anexo I.1. Circuito para control de temperatura del electrolito.



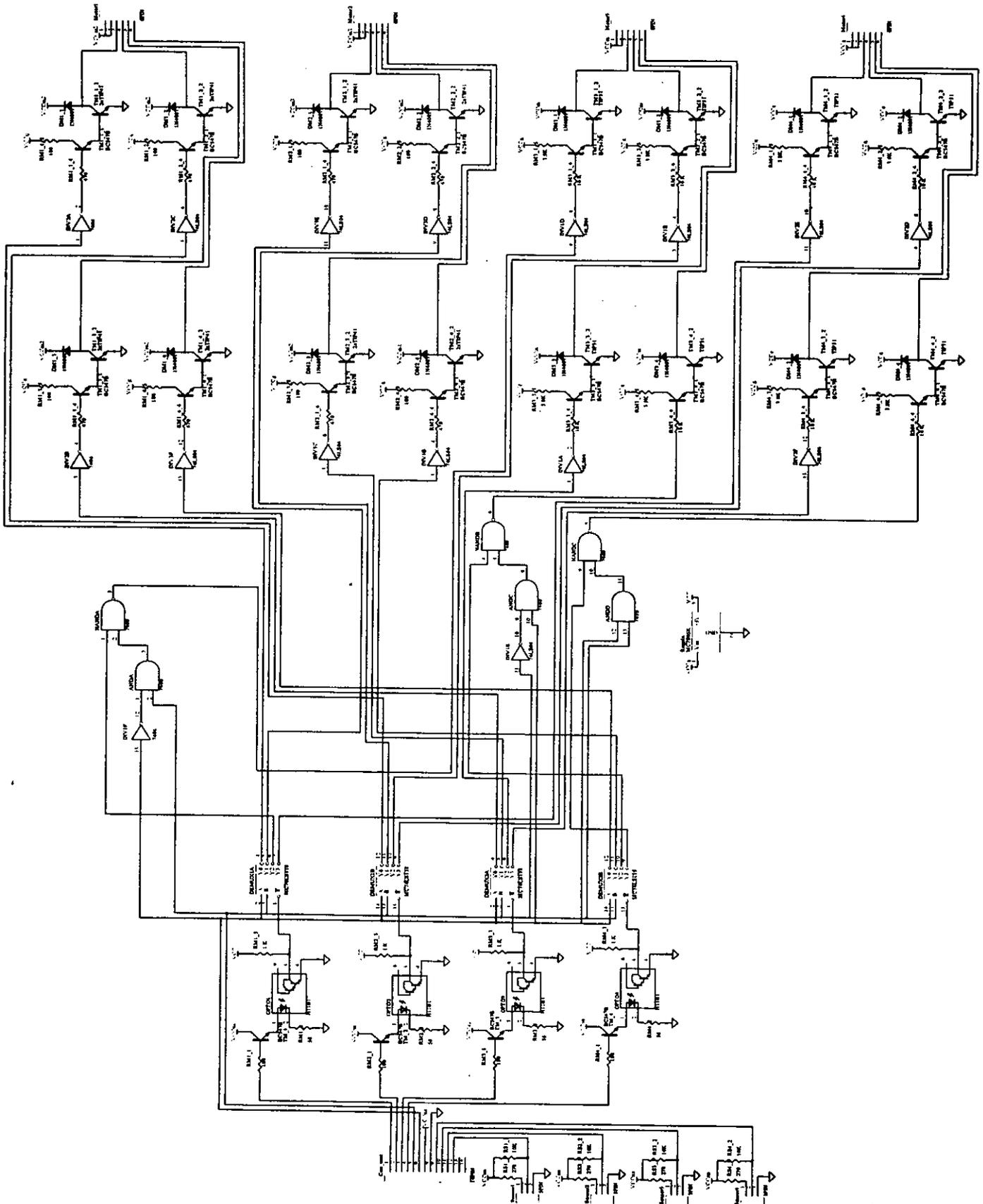
Anexo I.3. Circuito de la arquitectura del microcontrolador.



Anexo I.4. Circuito para la adquisición de corriente de depósito, diferencia de potencial entre los electrodos y control de corriente de depósito.



Anexo I.5. Circuito para el control de los motores a pasos.



ANEXO II. LISTADO DEL PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR.

PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR MC68HC11A1FN. SE ENCUENTRA ALMACENADO
EN LA EEPROM (dirección inicial B600) Y TRABAJA EN MODO SINGLE CHIP.

DEFINICION DE CONSTANTES

PACTL	EQU \$1026	;* Control puerto A.
BAUD	EQU \$102B	;* Definir baudaje.
SCCR1	EQU \$102C	;* Habilitan líneas de transmisión
SCCR2	EQU \$102D	; y recepción para la comunicación
SCSR	EQU \$102E	; asociados al puerto serie.
SCDR	EQU \$102F	;* Buffer de transmisión y recepción.
ADCTL	EQU \$1030	;* Control del convertidor A/D.
PORTA	EQU \$1000	
PORTB	EQU \$1004	
PORTC	EQU \$1003	
PORTD	EQU \$1008	
DDRC	EQU \$1007	;* Control puerto C.
DDRD	EQU \$1009	;* Control puerto D.
OPTION	EQU \$1039	;* Opciones del convertidor A/D.
ADR1	EQU \$1031	;* Almacenamiento canal de conversión 1/5.
ADR2	EQU \$1032	;* Almacenamiento canal de conversión 2/6.
ADR3	EQU \$1033	;* Almacenamiento canal de conversión 3/7.
ADR4	EQU \$1034	;* Almacenamiento canal de conversión 4/8.
TCTL1	EQU \$1020	;* Registros de control del Timer.
TMSK1	EQU \$1022	;* Máscara principal de interrupción por Timer.
TFLG1	EQU \$1023	;* Banderas de interrupción del Timer.
TOC2H	EQU \$1018	;* Comparación con el contador libre.
OFFSETA	EQU \$0082	;* Tiempo en alto del tren de pulsos.
OFFSETB	EQU \$0084	;* Tiempo en bajo del tren de pulsos.
CUBA	EQU \$0087	;* Almacena a qué cuba se mandará la corriente.
BUFFER	EQU \$00FF	;* Aquí se guarda el dato recibido y transmitido.

;* INICIO DEL PROGRAMA.

;* Habilitación de puertos e interrupciones.

ORG \$B600	;* Origen de la EEPROM.
LDAA #\$3C	;* Habilita los pines PD2 al PD5 como salidas
STAA DDRD	; para el control del motor a pasos.
LDS #\$0050	
CLR PORTB	;* Pone en cero las salidas de corriente
LDAA #\$1F	;* Habilita los pines PC0 al PC4 del puerto C
STAA DDRC	; como salidas y PC5 a PC7 como entradas.
CLR SCCR1	;* 1 bit inicio, 8 bits de datos, 1 bit de paro
CLR CUBA	;* Pone en cero el registro de corriente.
CLR PORTC	;* Apaga los calentadores.
LDD #\$300C	
STAA BAUD	;* Transmisión serie a 9600 bauds (\$30).
STAB SCCR2	;* Habilita transmisor y receptor (\$0C).
LDD #\$9010	;* Habilita la lectura de los cuatro canales
STAB ADCTL	; del convertidor A/D.
STAA OPTION	;* Habilita el convertidor A/D.
LDD #\$0043	;* Inicializa el valor de corriente al mínimo.
LDD #\$04F2	; " "

```

STD OFFSETB ; " "
LDAA #$7E ;* Coloca un JMP en el acumulador A y lo guarda en
STAA $DC ;* el primer byte del pseudovector del canal OC2.
LDX #RUTSERV ;* Carga la dirección de la rutina de servicio y
STX $DD ; lo almacena en el 2o y 3er byte del pseudovector.
LDAA #$40
STAA TCTL1 ;* Pone a cero OC2 cuando ocurre la interrupción.
STAA TMSK1 ;* Activa OC2I para habilitar la interrupción.
STAA TFLG1 ;* Activa la bandera de comparación de salida (OC2F).
LDX OFFSETA
STX TOC2H ;* Inicializa el contador de interrupción.
CLI ;* Limpia las banderas de interrupción.
CLR PACTL ;* Inicializa el pin PA7 como entrada

;* Secuencia de RESET de los motores a pasos.

MOTOR4 LDAA PORTA ;* Revisa si el motor4 ya llegó a la posición
        ANDA #$80 ; de origen.
        BNE MOTOR3
        LDAA #$60
        STAA PORTB ;* Habilita la secuencia de control al motor4 (11)
        BSR SECREG
        BRA MOTOR4

MOTOR3 LDAA PORTA ;* Revisa si el motor3 ya llegó a la posición
        ANDA #$04 ; de origen.
        BNE MOTOR2
        LDAA #$40
        STAA PORTB ;* Habilita la secuencia de control al motor3 (10)
        BSR SECADEL
        BRA MOTOR3

MOTOR2 LDAA PORTA ;* Revisa si el motor2 ya llegó a la posición
        ANDA #$02 ; de origen.
        BNE MOTOR1
        LDAA #$20
        STAA PORTB ;* Habilita la secuencia de control al motor2 (01)
        BRA MOTOR2

MOTOR1 LDAA PORTA ;* Revisa si el motor1 ya llegó a la posición
        ANDA #$01 ; de origen.
        BNE ALFA
        CLR PORTB ;* Habilita la secuencia de control al motor1 (00)
        BSR SECADEL
        BRA MOTOR1

SECREG LDAA #$24 ;* Subrutina secuencia de regreso para los
        STAA PORTD ; motores a pasos
        BSR RETARM
        LDAA #$30
        STAA PORTD
        BSR RETARM
        LDAA #$18
        STAA PORTD
        BSR RETARM
        LDAA #$0C
        STAA PORTD
        BSR RETARM
        CLR PORTD
        RTS

SECADEL LDAA #$0C ;* Subrutina secuencia de avance para los
        STAA PORTD ; motores a pasos
        BSR RETARM
    
```

```

LDAA #$18
STAA PORTD
BSR RETARM
LDAA #$30
STAA PORTD
BSR RETARM
LDAA #$24
STAA PORTD
BSR RETARM
CLR PORTD
RTS
RETARM
UNO    LDX #$0CFF    ;* Retardo para el envío de pulsos de la secuencia
        DEX        ; de los motores a pasos.
        BNE UNO
        RTS
MOTOR  LDAA SCSR    ;* Subrutina de recepción para el motor.
        ANDA #$20   ;* Checa el bit RDRF (testigo de recepción).
        BEQ MOTOR   ;* Si no recibe, regresa a MOTOR.
        LDAA SCDR   ;* Captura el dato recibido.
        STAA PORTB  ;* Habilita el motor deseado por medio del DMUX.
GAMA01 LDAA SCSR    ;* Checa el bit RDRF (testigo de recepción).
        ANDA #$20
        BEQ GAMA01 ;* Si no recibe, regresa a GAMA01.
        LDAA SCDR   ;* Captura el dato recibido.
        CMPA #$41   ;* Verifica sentido de giro de motor.
        BNE SALTO   ;* Si no es una "A", va a SALTO. Si es una "A",
        BSR SECADEL ;* salta a la subrutina de secuencia hacia adelante.
SALTO  CMPA #$42   ;* Verifica sentido de giro de motor. Si es una "B",
        BNE ALFA    ; Si no es una "B", va a ALFA. Si es una "B",
        BSR SECREG  ; salta a la subrutina de secuencia hacia atrás.
        BRA ALFA

;* Entrada menú principal.

ALFA   BSR REC      ;* Salta a la subrutina de recepción.
        LDAA BUFFER ;* Recibe lo que hay en el buffer y lo compara.
        CMPA #$4A   ;* Compara con una "J", si es va a
        BEQ MOTOR   ; subrutina de control de motor a pasos.
        CMPA #$41
        BNE B        ;* Si es una "B" va a la subrutina de envío del
        LDAA #$10   ; convertidor A/D (canales 4 al 7).
        STAA ADCTL  ;* Si es una "A" habilita la conversión de los
        BRA CICLO   ; canales 0 al 3.
B      LDAA BUFFER
        CMPA #$42   ;* Checa si se recibió una "B"
        LDAA #$14
        STAA ADCTL  ;* Habilita la conversión de los canales 4 al 7.
CICLO  LDAA ADCTL   ;* Verifica que las conversiones se hayan
        ANDA #$80   ; efectuado.
        BEQ CICLO   ;* Si no, regresa hasta que se completen.
        LDAA ADR1   ;* Guarda el valor convertido del canal 0 ó 4
        STAA BUFFER ; en el buffer de trans/rec.
        BSR TRANS   ;* Transmite el dato del convertidor.
        LDAA ADR2   ;* Guarda el valor convertido del canal 1 ó 5
        STAA BUFFER ; en el buffer de trans/rec.
        BSR TRANS   ;* Transmite el dato del convertidor.
        LDAA ADR3   ;* Guarda el valor convertido del canal 2 ó 6
        STAA BUFFER ; en el buffer de trans/rec.
        BSR TRANS   ;* Transmite el dato del convertidor.

```

	LDAA ADR4	* Guarda el valor convertido del canal 3 ó 7
	STAA BUFFER	; en el buffer de trans/rec.
	BSR TRANS	* Transmite el dato del convertidor.
TRANS	BRA ALFA	* Regresa al origen del programa.
BETA	PSHA	* Subrutina de transmisión.
	LDAA SCSR	* Checa el bit TC para comprobar si se
	ANDA #\$40	; esta transmitiendo.
	BEQ BETA	* Si no, regresa a BETA hasta que transmita.
	LDAA BUFFER	* Captura el dato a transmitir.
	STAA SCDR	* Transmite el dato a la PC.
	PULA	
	RTS	
RETAR	LDX #\$0FFF	* Retardo de tiempo para pulsos de control
DOS	DEX	; del motor a pasos.
	BNE DOS	
	RTS	
REC	PSHA	* Subrutina de recepción
	LDAA CUBA	
GAMALDAA	STAA PORTB	* Habilita el flujo de corriente a la cuba descada.
SCSR		* Checa el bit RDRF (testigo de recepción).
	ANDA #\$20	
	BEQ GAMA	* Si no recibe, regresa a GAMA.
	LDAA SCDR	* Captura el dato recibido.
	STAA BUFFER	* Guarda en \$01FF este dato.
	CMPA #\$47	* Compara con una "G", si es
	BEQ CICTRAB	; establece un ciclo de trabajo.
	CMPA #\$48	* Compara con una "H", si es
	BEQ CONTEMP	; se usa para el control de temperatura.
	CMPA #\$49	* Compara con una "I", si es
	BEQ MODESP	; queda en modo de espera.
	PULA	
	RTS	
RUTSERV	PSHA	* Se genera el ciclo de trabajo variable utilizado
	PSHB	; para el control de corriente.
	LDAA PORTA	* Verifica el estado del pin de salida
	ANDA #\$40	; del ciclo de trabajo (OC2).
	BEQ BAJO	
	LDD OFFSETA	
	STD \$80	
	BRA COMUN	
BAJO	LDD OFFSETB	
	STD \$80	
COMUN	LDD \$80	* Suma el offset requerido (alto ó bajo) al
	ADD TOC2H	; contador de interrupción por Timer.
	STD TOC2H	
	LDAA #\$40	* Habilita la bandera de OC2.
	STAA TFLG1	
	PULB	
	PULA	
	RTI	
SEND	STAA BUFFER	
	BSR TRANS	
	JMP ALFA	
CICTRAB	LDX #\$82	* Subrutina de recepción de ciclo de trabajo y cuba.
GAMA2	LDAA SCSR	* Checa el bit RDRF (testigo de recepción).
	ANDA #\$20	
	BEQ GAMA2	* Si no recibe, regresa a GAMA2.
	LDAA SCDR	* Captura el dato recibido.
	STAA \$00,X	* Guarda en OFFSETA, OFFSETB y CUBA estos datos.

```

                INX
                CPX #0088
                BNE GAMA2
                PULA
                JMP REC
CONTEMP        LDAA SCSR      ;* Subrutina de recepción del control de temperatura
                ANDA #$20      ;* Checa el bit RDRF (testigo de recepción).
                BEQ CONTEMP    ;* Si no recibe, regresa a CONTEMP.
                LDAA SCDR      ;* Captura el dato recibido.
                STAA PORTC     ;* Lo envía al puerto C para encender o apagar
                PULA          ; los calentadores.
                JMP REC
MODESP         LDAA PORTC     ;* Verifica si la el proceso debe comenzar.
                ANDA #$E0      ;* Reconoce inicio y tipo de proceso.
                CMPA #$80
                BEQ PROGA
                CMPA #$A0
                BEQ PROGB
                CMPA #$C0
                BEQ PROGC
                CMPA #$E0
                BEQ PROGD
                BRA MODESP     ;* Si no recibe "INICIO" regresa a MODESP.
PROGA          LDAA #41
                JMP SEND
PROGB          LDAA #42
                JMP SEND
PROGC          LDAA #43
                JMP SEND
PROGD          LDAA #44
                JMP SEND
```

MANUAL DEL PROGRAMA PARA EL CONTROL DEL PROCESO DE RECUBRIMIENTO ELECTROLITICO.

Este programa permite al usuario tener una comunicación con el sistema de control mediante el uso de una computadora personal. Con él se puede activar el proceso, definir los parámetros de control, cancelar en cualquier momento el proceso, establecer el puerto de comunicación y monitorear el desarrollo del proceso.

Se elaboró para trabajar bajo un ambiente *Windows* debido al gran auge que han tenido este tipo de programas por su sencillo manejo. Utilizar este programa no representa gran dificultad ya que se procuró que éste fuera lo más amigable para el usuario.

Requerimientos del programa

Para su uso Ud. deberá contar como mínimo con una computadora 286 con 2 MB en RAM, la cual cuente con el programa *Windows* versión 3.1 o 3.11. También deberá tener un puerto serie libre (ej. si Ud. utiliza su mouse en el puerto Com1, deberá tener un puerto Com2, si su computadora cuenta con puerto para mouse, bastará entonces con el Com1 para correr este programa).

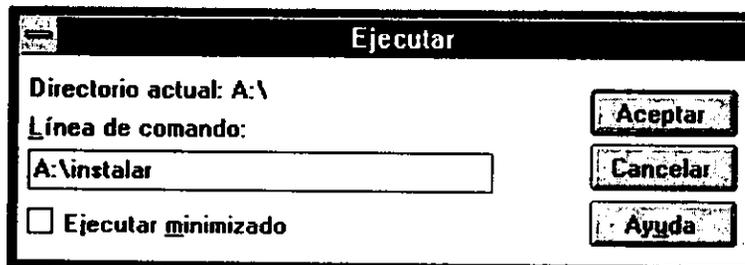
Se requiere de 2 MB de espacio libre en *Disco Duro*.

1. Principios del programa

1.1. Instrucciones de Instalación

Corra *Windows* y utilizando el comando *Ejecutar* de la opción *Archivo* del menú principal, escriba lo siguiente:

a:\instalar.exe



Con esto se ejecutará el programa de instalación. El programa de instalación le preguntará la ruta de acceso, la cual Ud. definirá a su gusto. La instalación creará un grupo de programas y dentro aparecerá el icono del programa, con lo cual se concluye el proceso de instalación.

1.2. Para iniciar el programa



Ud. debe de estar ejecutando *Windows*. Abra el grupo de trabajo denominado **Recubrimiento Electrolítico** y ejecute el icono del programa con el mismo nombre que aparece dentro; con esto Ud. estará iniciando en programa.

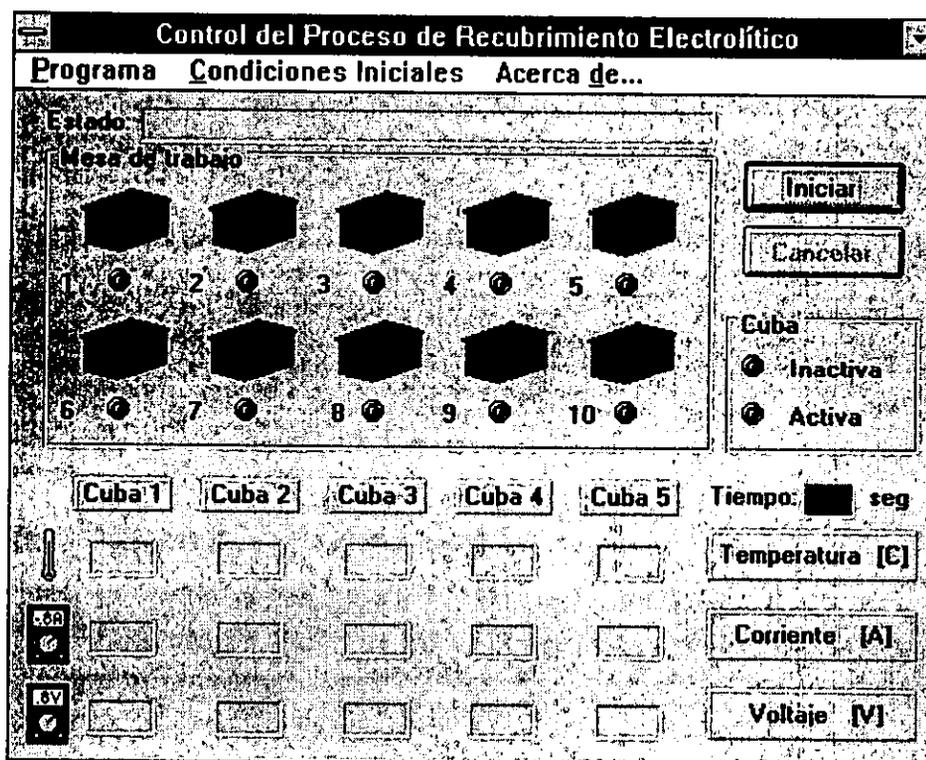
1.3. Para salir del programa

Si el proceso se encuentra trabajando Ud. deberá utilizar la opción *Cancelar* y después, del menú principal *Programa*, elegir *Salir*. Con esto terminará su sesión de trabajo con el programa.

2. Descripción de pantallas.

2.1. Pantalla principal

2.1.1. Descripción de despliegue



En la pantalla principal, en la zona de **Mesa de trabajo**, se representan las cubas que son empleadas en el proceso de recubrimiento electrolítico. Bajo cada una se colocó un indicador que, dependiendo de su estado, será verde o rojo.

Existe un pequeño recuadro (**Cuba**) en el cual se muestra el equivalente del color de luz dependiendo del estado de la cuba: verde = Inactiva y rojo = Activa.

En la sección **Estado** aparecerá información referente a la actividad del sistema.

El programa desplegará información proveniente de las cubas (temperatura, corriente, voltaje y tiempo de inmersión de las piezas, así como la cuba que se encuentre activa). El tiempo se indicará de manera creciente en segundos dentro de un rectángulo de fondo negro.

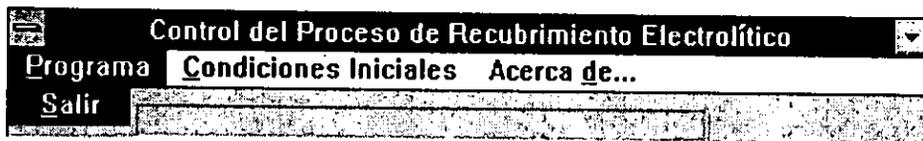
Los datos correspondientes a cada cuba se asignarán en forma de columna. La temperatura de las cinco tinajas en las que se realiza el proceso será sensada durante todo el proceso, a diferencia de la corriente y el voltaje, los cuales sólo aparecerán en la cuba activa.

La temperatura tiene una resolución de 0.4 °C, la resolución de la corriente es de 0.16 A y la resolución del voltaje es de 0.04 V; esto debido a los valores manejados en el proceso y a las características del convertidor A/D del microcontrolador.

2.1.2. Descripción del menú.

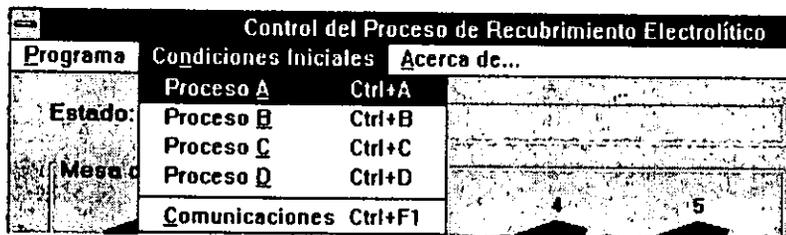
Estas opciones pueden elegirse, ya sea por mouse (con un clic en el botón izquierdo) ó mediante la combinación **Alt + letra subrayada**.

Programa



En esta opción el usuario tendrá la posibilidad de salir del programa, esto sólo será posible si el sistema no se encuentra activo, de otra forma deberá utilizar el botón *Cancelar* antes de salir.

Condiciones Iniciales



Aquí aparecerá un submenú para modificar las opciones del proceso: *Proceso y Comunicaciones* .

Acerca de...



Si el usuario desea conocer información sobre los autores podrá accederla eligiendo esta opción.

2.1.3. Descripción de botones.

En esta pantalla existen tres botones: Iniciar, Esperar y Cancelar, éstos se activarán mediante un clic en el botón izquierdo del mouse.

Iniciar

Con este botón el usuario comenzará el proceso, el cual estará regido por las condiciones iniciales que estén almacenadas en el programa (para comunicaciones el puerto de comunicación es el Com 2 por default, y los tiempos de actividad en las cubas es cero). Si el usuario no ha cargado datos en las condiciones iniciales del proceso este botón estará inhabilitado.

Cuando este botón es presionado se deshabilitará y sólo se tendrá la posibilidad de cancelar el proceso.

Esperar

Al activar este botón el programa quedará en modo de espera con lo que se iniciará el proceso mediante una señal externa aplicada en los pines PC5 a PC7 del microcontrolador.

Los pines PC5 y PC6 definen el tipo de proceso que se utilizará, mientras que el pin PC7 será el pin de inicio :

PC5	PC6	PC7	Estado
X	X	X	Modo de espera
0	0	1	Proceso A
1	0	1	Proceso B
0	1	1	Proceso C
1	1	1	Proceso D

Cancelar

Al aparecer la pantalla principal y antes de iniciar el proceso, este botón se mantendrá deshabilitado ya que no tiene nada que cancelar. El botón se habilitará después de iniciar el proceso.

Al presionar este botón el proceso deshabilitará el flujo de corriente, apagará los calentadores y moverá al actuador hacia una posición preestablecida.

2.2. Pantalla de Condiciones Iniciales del Proceso

2.2.1. Descripción de despliegue

Condiciones Iniciales del Proceso A

Valores Iniciales

Cuba No.:	1	2	3	4	5	
Parámetro:						
Temperatura	86	75	89	62	77	[C]
Corriente	14	12	15	11	24	[A]
Tiempo	360	200	180	400	327	[seg]
Secuencia						1

Buttons: Aceptar, Siguiente, Anterior, Limpiar, Cancelar

Se puede acceder esta pantalla eligiendo del menú principal alguna de las opciones de Proceso (A, B, C o D) del submenú *Condiciones Iniciales*.

Para cada una de las opciones se tiene una serie de pantallas (10 en total) en las cuales se introducen los valores de temperatura, corriente y tiempo requeridos en el proceso. Se tiene la posibilidad de utilizar distintas secuencias y puede dejar de utilizarse una o varias cubas en cada secuencia si así se desea; para esto basta con dejar en **cero** la casilla de **tiempo** correspondiente.

Los valores se muestran en columnas para cada cuba y en pantallas completas por secuencia. El número de la secuencia se despliega en la parte inferior del recuadro principal **Valores Iniciales**. El programa es capaz de almacenar los cuatro procesos en el disco duro de la máquina por lo que el usuario tendrá la posibilidad de acceder a ellos y modificarlos al elegir esta opción. Cuando Ud. utilice la opción de *Esperar*, el programa cargará los datos que se tengan almacenados previamente para cada proceso. Si se desea modificar sólo habrá que realizar los cambios en el proceso adecuado antes de presionar el botón de *Esperar*.

2.2.2. Descripción de botones.

En esta pantalla el usuario tiene cinco opciones a elegir:

Aceptar

Mediante el uso de este botón el usuario estará de acuerdo con los valores que se encuentren en las casillas correspondientes a cada cuba.

Siguiente

Si el usuario requiere más de una secuencia en el proceso, podrá acceder otra pantalla de entrada de datos al elegir esta opción. El número máximo de secuencias es diez. Con este botón se pueden mostrar las secuencias siguientes para consulta o modificación.

Anterior

Para observar valores introducidos en secuencias anteriores será necesario activar este botón, dichos valores podrán ser consultados o modificados por el usuario si así lo requiere.

Limpiar

Cuando se requiere poner en ceros los valores de los parámetros en las cubas este botón nos mostrará una pantalla con dos opciones de limpieza: *Secuencia* ó *Todo*.



Secuencia

Se usa para poner en ceros sólo la secuencia mostrada en el instante de elegir *Limpiar*.

Todo

Con este botón se pone en ceros todos los parámetros del proceso.

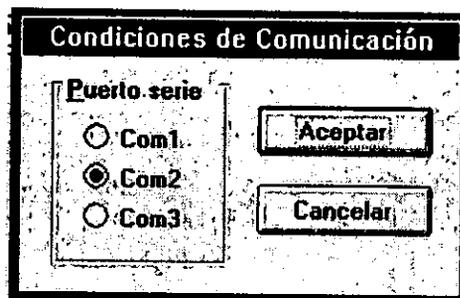
Cancelar

Este botón, en cualquiera de las pantallas, se utiliza, como su nombre lo indica, para cancelar la opción en la que se estuviera trabajando.

2.3. Pantalla de Condiciones de Comunicación

2.3.1. Descripción de despliegue

En la pantalla se tiene un recuadro llamado **Puerto serie** en el cual se muestran tres opciones a elegir para la comunicación *PC - Sistema controlador*.



2.3.2. Descripción de botones.

Aceptar

Con este botón el usuario establecerá como puerto de comunicación aquél que se encuentre marcado con el círculo negro. Si se desea cambiar el puerto de comunicación bastará con posicionar el mouse en el letrero del puerto necesario y hacer un click con el botón izquierdo. El programa pondrá al puerto serie 2 (Com2) como puerto de comunicación preestablecido.

Cancelar

Si el usuario está de acuerdo con el puerto que se le muestra, no tendrá necesidad de cambiarlo y esta pantalla será sólo informativa, por lo que bastará con quitarla mediante el uso de el botón *Cancelar*.

3. Instrucciones de uso

Con este programa el usuario tendrá la posibilidad de utilizar cada cuba de recubrimiento hasta diez veces. El proceso se lleva a cabo secuencialmente, es decir, una secuencia será: cuba 1 + enjuague, cuba 2 + enjuague, ..., cuba 5 + enjuague. Si Ud. requiere más secuencias podrá elegir la secuencia siguiente en la pantalla de **Condiciones Iniciales del Proceso** usando el botón *Siguiente*.

Para utilizar el programa será necesario seguir las siguientes instrucciones.

Establecer las condiciones iniciales de comunicación.

(NOTA : Si no se eligen el puerto de comunicación preestablecido será el COM2)

1. Del menú principal en la opción *Condiciones Iniciales* elegir *Comunicaciones*.
2. De las tres opciones que aparecen, elegir la adecuada.
3. Oprimir *Aceptar*.

Definir las condiciones de operación del proceso (valores de control).

1. Del menú principal en la opción *Condiciones Iniciales* elegir Proceso X (Donde X = A,B,C,D).
2. La primer pantalla que aparece está referida a la secuencia 1. Se puede seleccionar cualquiera de las casillas haciendo un clic con el botón izquierdo del mouse dentro de ellas; también pueden seleccionarse haciendo uso de la tecla Tab. Si Ud. quiere cambiar el valor que se muestra bastará con hacer un doble clic dentro de la casilla para quitarlo y así poder escribir el nuevo valor.
3. Llenar la tabla con los valores de temperatura, corriente y tiempo para cada una de las cubas que se quieran emplear (si no se desea utilizar alguna cuba, bastará con poner en cero el valor de tiempo correspondiente).
4. Si se requiere otra secuencia habrá que seleccionar el botón *Siguiente* y repetir el paso 3, así sucesivamente para cada secuencia necesaria.
5. Cuando todos los valores sean correctos seleccionar *Aceptar*.
Si sólo se quiere consultar los valores podrá cambiar de secuencia empleando los botones *Siguiente* y *Anterior*, dependiendo del número de secuencia a consultar.
Si desea cambiar el tipo de proceso tendrá que repetir el paso 1.

Comenzar el proceso.

Una vez conectado el sistema y definidas las condiciones iniciales, de comunicación y del proceso, se deberá realizar lo siguiente para iniciar el proceso:

Presionar el botón de **Reset** del Sistema de Control.

Seleccionar el tipo de proceso.

3. Oprimir el botón *Iniciar* o *Esperar*.

El proceso iniciará su funcionamiento si seleccionó *Iniciar* y se encontrará esperando el inicio por hardware si se eligió *Esperar*.

Cancelación del proceso.

Si Ud. desea detener el proceso antes de que éste concluya las secuencias programadas, bastará con oprimir el botón *Cancelar*.

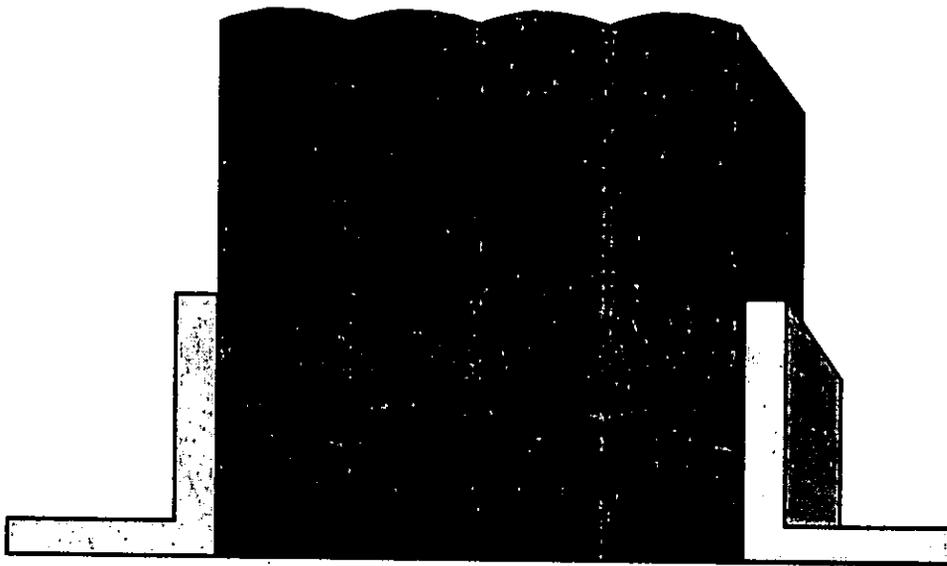
Al cancelar el programa deshabilitará el flujo de corriente hacia las cubas y apagará todos los calentadores, sin embargo también regresará el posicionador a la cuba número 6, que se estableció como origen.

Fin del programa.

Si el proceso se encuentra inactivo (ya concluyó, se interrumpió ó no ha iniciado) Ud. podrá salir utilizando del menú principal, dentro de la opción *Programa, Salir*.

Si el proceso está activo Ud. tendrá que cancelar antes de salir.

BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA.

- Pallás Areny, Ramón
SENSORES Y ACONDICIONADORES DE SEÑAL
Ed. Marcombo 2a edición
- Climent Beltrán, J.
FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO Y PROTECCIÓN DE
SUPERFICIES METÁLICAS
D.R. Gabe
- National Semiconductor
NATIONAL APPLICATION SPECIFIC ANALOG PRODUCTS
DATABOOK
1995 Edition
- National Semiconductor
NATIONAL OPERATIONAL AMPLIFIERS DATABOOK
1995 Edition
- National Semiconductor
NATIONAL DISCRETE DIODE, BIPOLAR TRANSISTOR, AND JFET
PRODUCTS DATABOOK
1996 Edition
- Motorola
OPTOELECTRONICS DEVICE DATA, GLOBAL OPTOISOLATORS
PRODUCTS
1995
- Motorola
HC11 REFERENCE MANUAL
1991
- Motorola
ANALOG / INTERFACE Ics DEVICE DATA VOL 1
1996
- Motorola
MASTER SELECTION GUIDE
1996

- Oliver and Cage
ELECTRONIC MEASUREMENTS
Mc Graw Hill, 1980
- Darold Wohschall
CIRCUIT DESIGN FOR ELECTRONIC INSTRUMENTATION
Mc Graw Hill
- Boylestad, Robert y Nashelsky, Louis
Tr. Gabriel Nagore Cázarez
ELECTRONICA TEORIA DE CIRCUITOS
4a. Edición. Prentice Hall Hispanoamericana
- Achával, Manuel G.
VISUAL BASIC 3.0
1994. Ventura Ediciones
- Thomson Industries, Inc.
ADVANCED LINEAR MOTION SYSTEMS
1992 Edition
- Applied Motion Products
MOTORS DRIVES CONTROL
- Douglas W., Jones
CONTROL OF STEPPING MOTORS, A TUTORIAL
University of Iowa Department of Computer Science
Referencia en Internet